1
INTRODUCCION A LA TELEVISION

1.0 Introducción.

Para un elevado porcentaje de la humanidad, la televisión forma parte de la vida cotidiana. Sus aplicaciones, ya sea para entretenimiento o información, o bien como herramienta en numerosas actividades, son innumerables y continúan creciendo. Abarcar todos los aspectos relacionados con la televisión sería más bien motivo de una enciclopedia que de un texto que pretende ser introductorio para el conocimiento de los sistemas de televisión. El tratamiento que se da en este texto sigue una línea tradicional en el sentido de presentar los temas que se consideran de mayor relevancia y que abarcan campos muy diversos. De hecho, el mayor énfasis es en el aspecto de vídeo, sin descartar por ello algunos temas importantes relativos al sonido. Así, los temas tratados son básicos y, en buena medida, comunes a las diversas aplicaciones de la televisión. El tratamiento matemático, en la mayoría de los casos, se ha reducido al mínimo de modo que el lector no familiarizado pueda, si no prescindir de ellos, comprenderlos al menos cualitativamente.

En este capítulo se ofrece una panorámica general de los sistemas de televisión, partiendo de los aspectos más relevantes de su desarrollo histórico y su evolución hasta nuestros días. Se resumen las principales aplicaciones y se ofrece una clasificación de los sistemas según diversos criterios de aplicación. Se resumen también los principales estándardes en uso o en vías de adopción, tanto para los sistemas analógicos como para los digitales, sin entrar de momento en los detalles de las señales y tratándolas únicamente desde un punto de vista general en términos de sus características fundamentales. El objetivo que se pretende, es que el lector adquiera una visión inicial de conjunto de los sistemas de televisión antes de entrar en detalles.

1.1 El contexto de la televisión

Aunque el término *televisión* se usa extensamente, el sentido que se le da suele ser ambiguo. Para evitar confusiones, conviene definirlo en el contexto en que aplicará en este texto y lo haremos en la forma tradicional, adecuando la definición a las condiciones actuales. Así, por *televisión* entenderemos aquí la generación, procesado, almacenamiento y transmisión de imágenes, generalmente en movimiento, así como del sonido asociado a ellas y de otros datos o información adicional que puede ser independiente de la imagen y sonido, como puede ser un cuadro de teletexto, información alfanumérica o gráfica relativa a la programación, etc.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones

Conviene distinguir entre el concepto de *televisión* y el de *vídeo.* Este último se refiere únicamente a la imagen, ya sea fija o en movimiento, sin incluir el sonido u otros servicios. La incorporación de computadoras en el entorno de la televisión y el desarrollo de Internet en los últimos años, abre un inmenso abanico de posibilidades futuras en que la televisión tradicional[1], pasa a formar sólo una parte de todo el conjunto de posibles servicios accesibles al consumidor y que se designan un tanto ambiguamente como *multimedia*.

En sus orígenes, el objetivo principal de la televisión fue la difusión de programas de entretenimiento, deportes y noticias por medios radioeléctricos y, posteriormente, a través de cable y satélite. Los estándardes en uso para los sistemas analógicos de televisión, se produjeron en su mayoría hace más de cincuenta años, dando lugar a un desarrollo técnico continuo hasta nuestros días. Estos sistemas analógicos alcanzaron una gran madurez a lo largo de más de cinco décadas y fueron encontrando aplicación en una inmensa variedad de campos. Lo que inicialmente tuvo como propósito principal el entretenimiento, se ha convertido en una herramienta indispensable en numerosas actividades científicas, médicas, industriales y domésticas.

Puede afirmarse que, desde el punto de vista de la ingeniería, la televisión constituye uno de los campos más completos y atractivos de desarrollo y aplicación de la ciencia y la técnica, no sólo en los aspectos de electrónica y comunicaciones, quizá los más evidentes y con los que más se asocia a la televisión, sino en otros terrenos tan diversos que van, desde la mecánica a la fisiología. Por ejemplo, una cámara de de televisión es un dispositivo en el que se aplica microelectrónica, óptica, procesado de señal, tanto analógica como digital, principios psicofisiológicos, sistemas de control y mecánica, sólo por citar algunas de las áreas de conocimiento que intervienen en su concepción y diseño. Los conocimientos de ingeniería eléctrica, iluminación, acústica, mecánica e ingeniería civil son indispensables en el diseño de un estudio y de las instalaciones asociadas. El empleo de radioenlaces y las comunicaciones por satélite son una necesidad cotidiana. En transmisión, además de los conocimientos de teoría de información, modulación, codificación de canal, etc., es necesario aplicar conocimientos de electricidad, electrónica de potencia, control, etc. En la construcción de una torre para soporte de antenas, intervienen no sólo la mecánica y resistencia de materiales, sino factores climáticos y meteorológicos. El sonido y la videograbación constituyen áreas muy amplias que requieren una gran especialización. En fin, la televisión integra una inmensa cantidad de conocimientos y actividades técnicas que difícilmente se encuentran en otros campos.

En el terreno de producción de programas el panorama no es menos amplio, atractivo, ni complejo. La concepción, producción y realización de un programa requiere, según el tema, del concurso de numerosas personas con especialidades o talentos muy variados: escritores, escenógrafos, compositores, locutores, artistas, sastres, maquilladores, carpinteros, armeros, domadores, etc. Así, si se desea darle un mínimo atractivo visual, estético y de continuidad a un programa, aparentemente tan simple como la exposición de una clase, es necesario un guión previo, escenografía, decorado, maquillaje, musicalización, iluminación, etc. Este es, en cualquier caso, un campo en el que no es posible profundizar aquí. Lo importante es dejar claro el concepto de que, con excepción de aplicaciones específicas como en vigilancia,

[1] Designamos aquí como *televisión tradicional* a la destinada a transmitir programas de entretenimiento, información, deportes, etc.

observación de procesos, operaciones quirúrgicas, percepción remota por satélites o vehículos espaciales y otras similares, la televisión, en su concepto más popular, no puede realizarse con la simple colocación de una cámara frente a una persona o un escenario. Requiere de una planificación previa, tanto técnica como de realización.

En el desarrollo de los sistemas de televisión, sin duda ha sido un factor importante lo que puede llamarse el *modelo o concepción de sistema*, totalmente diferente entre Estados Unidos y el resto del mundo, en particular Europa. El modelo estadounidense ha influenciado, aunque no completamente, el concepto de los sistemas de televisión en el continente americano y en algunos países asiáticos en que la influencia política y económica de los Estados Unidos ha sido importante, con la excepción de Japón. El modelo estadounidense se basa en el hecho de que la radiodifusión es una *actividad* que, aunque pública, se adjudica a empresas privadas cuyos objetivos son puramente comerciales. La única excepción en los Estados Unidos, la constituye el sistema de radiodifusión pública, PBS (Public Broadcasting System). Por ello, lo que se pretende de tales sistemas es su rentabilidad financiera, de modo que cada espectador es un consumidor potencial de la publicidad transmitida, bien sea ésta directa o subliminal. Aunque en la actualidad el modelo europeo tiende a acercarse al americano, en algunos países prevalece aún el principio de que la radiodifusión es un *servicio público* cuya finalidad, además de entretener e informar, es la de cumplir otras funciones sociales como el apoyo a la educación, la reafirmación de valores nacionales y la armonía en la convivencia social, aspectos cuya rentabilidad no puede medirse en términos monetarios. Según este modelo, el Estado asume la obligación de llevar a todos sus habitantes las señales de radio y televisión sin otra restricción que la de que el espectador adquiera el receptor adecuado y, en algunos casos, pague un impuesto, generalmente modesto, para contribuir al mantenimiento del servicio, como ocurre en el Reino Unido. A consecuencia de esta diferencia de concepto en los modelos de televisión, el desarrollo en Europa ha seguido líneas diferentes a las de los Estados Unidos. En la actualidad el modelo que prevalece en casi todo el mundo es el comercial.

1.2 Inicios de la televisión

Resultaría extenso y, seguramente incompleto, hacer una reseña histórica de la televisión, cuyos orígenes se remontan a la últimas décadas del siglo XIX. Los intentos para transmitir imágenes a distancia por medios eléctricos se remontan a 1876,[2] el mismo que año de la invención del teléfono. En esa época se conocía ya que la resistividad del selenio variaba según la luz incidente sobre él, de modo que tan pronto como Alexander Graham Bell demostró que era posible transmitir señales complejas por medios eléctricos, un buen número de inventores comenzaron a trabajar sobre la posibilidad de "ver mediante la electricidad". Algunos de los esquemas propuestos se basaban en el empleo de un mosaico de detectores de selenio, en tanto otros invocaban la exploración o barrido de imágenes con uno o más puntos de selenio. La reproducción podía realizarse, en teoría, con sistemas tan ambiguos y variables como el movimiento de un lápiz, o la acción electroquímica sobre un papel tratado adecuadamente. La técnica fundamental sobre la que se desarrollaron los sistemas prácticos desde sus inicios, se basó en la *exploración* o *barrido* de la imagen a transmitir que, para tal efecto, se considera formada por un conjunto de líneas horizontales. La imagen se explora línea a línea horizontalmente y, las líneas sucesivas, de arriba a abajo,

[2] *Electronics*. April 7, 1980. Special Commemorative Issue.

de manera semejante a la lectura de una página, como se trata con algo más de amplitud en el capítulo 4. La idea del barrido es anterior a la televisión y se remonta al *pantelégrafo* de Caselli alrededor de 1860 y de algunos otros que consiguieron la transmisión telegráfica de textos escritos con tinta especial, explorándolos de manera semejante al facsímil. En este caso se trata de imágenes *bitonales*, es decir sólo con tonos blancos o negros, a diferencia de la televisión monocromática en que lo que se transmite es una *escala de grises*, es decir de tonos continuos entre el negro y el blanco. En televisión es necesario disponer de un sensor optoeléctrico capaz de registrar los niveles variables de gris y no sólo los dos niveles de blanco o negro.

El primer invento que tuvo consecuencias prácticas fue el "telescopio eléctrico", patentado por el inventor alemán Paul Gottlieb Nipkow en 1884 y que se basaba en un disco conocido después como "disco de Nipkow", que se muestra esquemáticamente en la figura 1.1, con 24 agujeros equiespaciados sobre una espiral cercana a la periferia del disco, que constituía lo que podría considerarse la cámara de televisión. La imagen a transmitir se enfocaba sobre una pequeña región en la periferia del disco, que giraba a 600 revoluciones por minuto.

Según giraba el disco, la luz proyectada a través de los agujeros, exploraba secuencialmente una imagen translúcida, a lo largo de una línea y una lente, detrás de la imagen, recolectaba las muestras de luz, correspondientes a cada punto de la imagen y las enfocaba sobre una única célula de selenio, en la que se producía una corriente eléctrica proporcional a la intensidad luminosa de cada elemento de la imagen. En el extremo receptor, Nipkow propuso utilizar un modulador magneto-óptico basado en el efecto Faraday, para hacer variar la intensidad luminosa de los elementos de la imagen reproducida en concordancia con los de la transmitida. Para formar la imagen era necesario un segundo disco, idéntico al primero y girando en sincronismo con él.

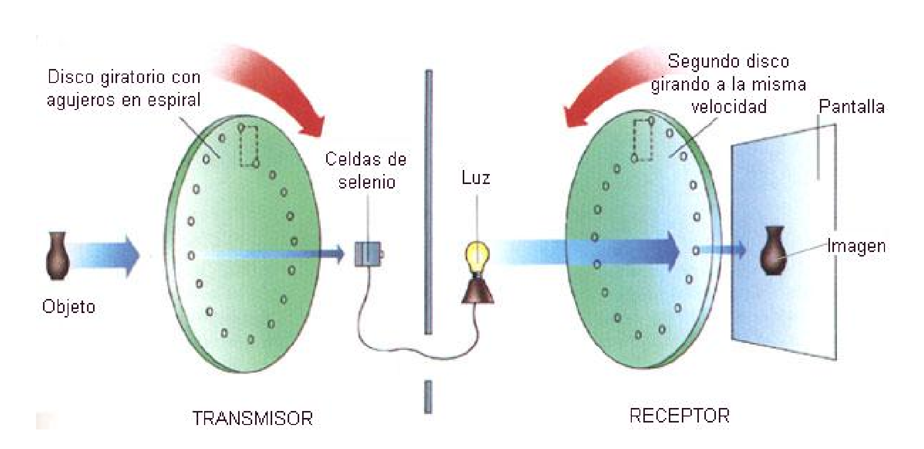


Fig 1.1 Disco de Nipkow

Nipkow no construyó físicamente el sistema, ya que la tecnología de la época no lo permitía. Sin embargo, debido a su naturaleza mecánica el disco Nipkow no funcionaba eficazmente con imágenes grandes y altas velocidades de rotación para conseguir una mejor definición. No obstante, su disco fue el modelo para varios sistemas electromecánicos de televisión desarrollados posteriormente, en particular por John Logie Baird en Inglaterra.

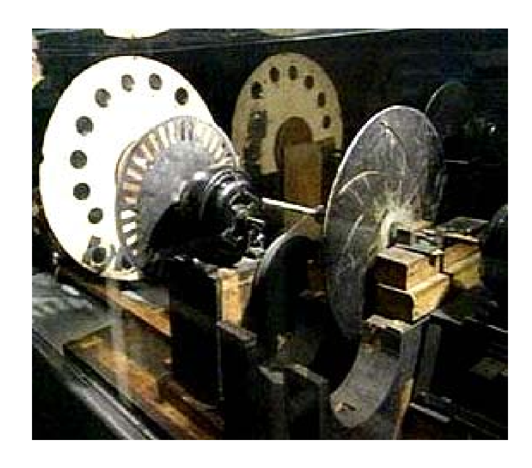


Fig. 1.2. Sistema de Baird utilizando el disco de Nipkow

En 1926, en Londres, Baird demostró un sistema de televisión con 30 líneas de barrido en que la generación de la imagen y su reproducción se hacían mediante discos giratorios como los ilustrados en la figura 1.2. El elemento sensor en el transmisor era una fotocelda de selenio, la señal se transmitía por un cable corto hasta el receptor y se reproducía con una lámpara de neón, produciendo una imagen borrosa de color rojo anaranjado y de tamaño algo inferior al de una tarjeta de crédito, semejante a la mostrada en la figura 1.3.



Fig. 1.3. Imagen con barrido a 30 líneas
por cuadro con el sistema de Baird.

En los Estados Unidos, Alemania, Francia y Rusia, entre otros, se trabajó también con sistemas electromecánicos y fueron muchos los que contribuyeron al desarrollo de los primeros sistemas de televisión.

En los Estados Unidos, en Marzo de 1922, Charles Francis Jenkins Jenkins desarrolló un sistema capaz de reproducir imágenes en movimiento y lo utilizó para transmitirlas por radio entre Washington y Philadelphia en 1925. Si bien Jenkins visualizó aplicaciones comerciales para su sistema, la gran depresión económica ocurrida a finales de la década de 1920 en Estados Unidos, llevó su empresa a la bancarrota y la RCA (Radio Corporation of America) adquirió los derechos de muchas de sus invenciones.

En abril de 1925, H. E. Ives[3] y asociados de la Bell Telephone y de ATT, realizaron un sistema para transmitir imágenes fijas, de color, a través de líneas telefónicas. Con él, lograron

[3] H. E. Ives, et al. The Transmission of Pictures over Telephone Lines. BTSJ. April 1925.

transmitir con gran definición fotografías y textos, entre los que se encuentra la versión en japonés de un tratado entre Estados Unidos y Japón e incluso, huellas dactilares con gran detalle. Este trabajo, si bien más en el campo del facsímil que en el de televisión propiamente dicha, aplica principios utilizables en ésta y resulta sorprendente cómo, con los limitados recursos de la tecnología de la época, fue posible la transmisión de imágenes de gran definición, superior quizá a la de los primeros sistemas de televisión que empezaron a extenderse en años posteriores.

En Europa, las primeras transmisiones experimentales fueron llevadas a cabo por la BBC (British Broadcasting Corporation) en 1929, utilizando un sistema debido a John L. Baird, basado en imágenes formadas por 30 líneas[4] exploradas mecánicamente. Los primeros experimentos formales en televisión se llevaron a cabo por Baird en Londres, alrededor de 1925 en forma similar a los trabajos realizados por Jenkins, excepto que Baird utilizó transmisión por cable en lugar de radioeléctrica. Pocos años después se inició un servicio regular de radiodifusión de televisión utilizando el sistema de Baird y, en 1932, se habían vendido en Inglaterra alrededor de diez mil receptores de televisión utilizando un disco de Nipkow con unas 30 líneas de resolución. Los intentos formales para transmisión al público en general se iniciaron en 1936, con el sistema de Baird, mejorado a 240 líneas y un sistema desarrollado conjuntamente por las empresas Marconi y EMI (Electrical and Musical Industries), completamente electrónico, de 405 líneas, transmitiendo en cada sistema en días alternos. Este último fue adoptado en el Reino Unido en febrero de 1937 y utilizado hasta hace pocos años en ese país. El sistema de 405 líneas se convirtió en el estándard designado como *Sistema "A" del CCIR*, en la Banda I (41-68 MHz). En 1936, se transmitieron por televisión los Juegos Olímpicos celebrados en Berlín, aunque las transmisiones fueron a distancia de unos pocos Km y sólo para muy escasos receptores. En la figura 1.4 se muestra una de las cámaras utilizadas y fabricadas por Telefunken. La cámara utilizaba como sensor de imagen un *iconoscopio*.

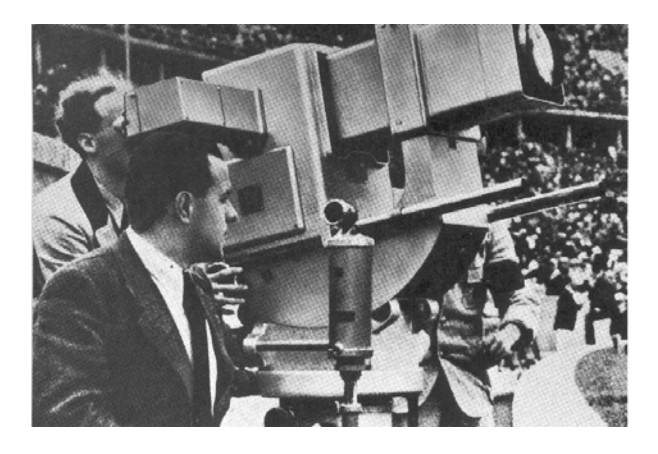


Fig. 1.4. Cámara utilizada en los Juegos Olímpicos de Berlín en 1936

Es interesante hacer notar que Baird estaba aparentemente mas interesado en probar sus ideas que en refinarlas para utilización comercial y, como consecuencia de ello, desarrolló una actividad febril que produjo una cantidad considerable de innovaciones, entre las que cabe mencionar la transmisión de imágenes por línea telefónica entre Londres y Glasgow en

[4] G. H. Hutson, P. Shepperd & W.S. J. Brice. Colour Television. System principles, engineering practice and applied technology. McGraw Hill Book Co. (UK) 1990.

1927 y, en 1928 , por onda corta a través del Atlántico y también entre un barco y tierra en ese mismo año. Llevó a cabo la primera demostración de televisión cromática en 1928 y la transmisión simultánea de imágenes y sonido en 1930. En 1931 efectuó la primera transmisión directa de televisión de un evento público, las carreras de caballos de Epsom, y llevó a cabo transmisiones en la banda de UHF en 1932.

Todos los sistemas anteriores, con excepción del Marconi-EMI, se basaron en aplicaciones del disco de Nipkow y los trabajos de Baird se centraron principalmente en este tipo de sistemas de televisión electromecánicos. Sin embargo, éstos adolecen de una serie de problemas que no pudieron ser realmente superados en aquellos años como la baja resolución y el parpadeo notorio en la imagen reproducida, aunados a la complejidad de los sistemas electromecánicos necesarios en el receptor. Los sistemas totalmente electrónicos como el de Marconi-EMI, permitieron resolver esos problemas y, sin menoscabo alguno del indudable mérito de Baird, constituyen la base de los sistemas actuales de televisión.

1.3 Sistemas electrónicos de televisión

La descripción del primer sistema de televisión totalmente electrónico se debe a Alan Archibald Campbell-Swinton, publicado la revista "Nature" el 18 de junio de 1908. De manera semejante a Nipkow, Campbell-Swinton no llegó a una implementación práctica, pero describió sus ideas con gran detalle. Su sistema estaba basado en el *tubo de rayos catódicos* inventado en 1897 por Karl Ferdinand Braun en Estrasburgo. Campbell-Swinton propuso utilizar los tubos de rayos catódicos tanto en el transmisor como en el receptor, reconociendo que el problema principal era "visualizar un transmisor eficiente que, bajo la influencia de luz y sombra, pudiera variar suficientemente la corriente eléctrica transmitida de modo que pudiera producir las variaciones necesarias en la intensidad del haz electrónico en el tubo de rayos catódicos del receptor".

Boris Rosing, en el Instituto Tecnológico de S. Petersburgo en 1907, estuvo más cerca de la realidad. Desarrolló un sistema que realizaba la exploración de la imagen mediante un disco de Nipkow en el transmisor y un tubo de rayos catódicos de Braun en el receptor. La Revolución Bolchevique acabó con su trabajo, pero motivó a uno de sus discípulos, el físico Vladimir Kosma Zworykin, emigrado a los Estados Unidos en 1919, a continuar el trabajo y, primero en la empresa Westinghouse y luego en la RCA (Radio Corporation of America), fue una de las personas que, probablemente, más hayan contribuído al desarrollo de la televisión, gracias en parte al patrocinio que le brindó David Sarnoff, entonces en la RCA.

En 1923, Zworykin solicitó la patente de sus ideas que, posteriormente, constituirían la base de los sistemas modernos de televisión. En 1924 demostró un receptor de televisión con un tubo de rayos catódicos de 7 pulgadas, con deflexión electrostática y electromagnética del haz electrónico. En el mismo año, demostró también un dispositivo electrónico que constituyó una revolución en el campo de la televisión: el *iconoscopio* (figura 1.5), con el que era posible la exploración electrónica de la imagen para su transmisión. En 1925, solicitó la patente de un sistema de televisión en color totalmente electrónico.

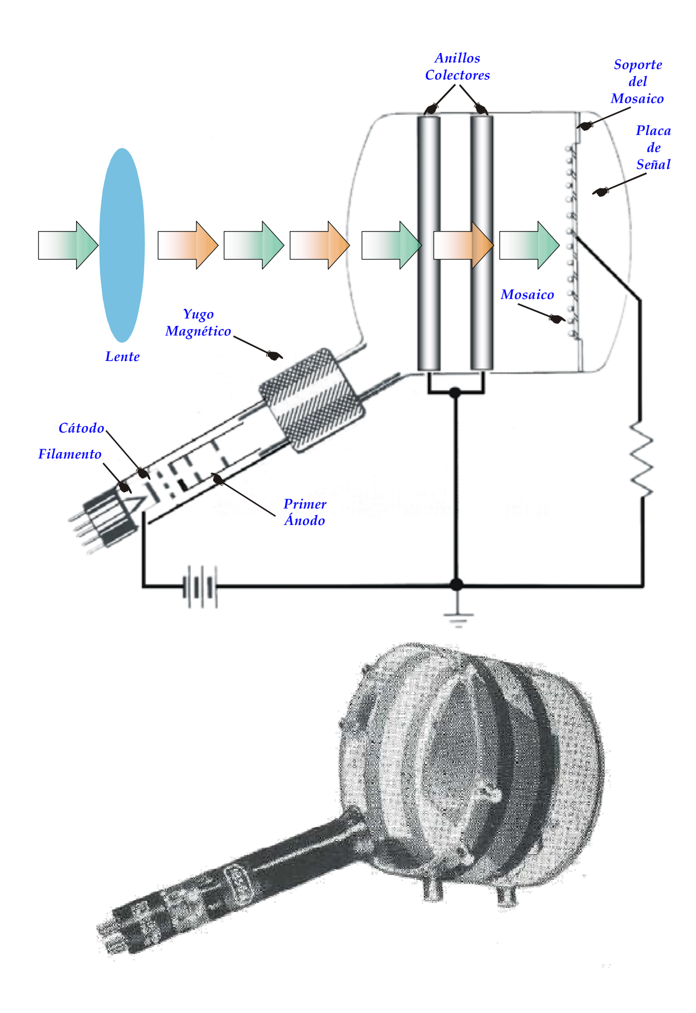


Fig. 1.5. Iconoscopio de Zworykin.

En 1929 y, trabajando independientemente, Philo Taylor Farnsworth demostró un sistema de televisión completamente electrónico utilizando un tubo de rayos catódicos con deflexión electromagnética para la reproducción de la imagen. Anteriormente, en 1927, había desarrollado una cámara electrónica, utilizando un tubo de cámara diseñado por él, el *disector de imagen*, que posteriormente encontró aplicaciones en cámaras fijas adosadas a proyectores de películas y algunos de cuyos principios como el de multiplicación electrónica fueron incorporados por Zworikyn en el iconoscopio de imagen y en el orthicón. En 1931 se incorporó a la empresa Philco donde continuó sus investigaciones. Farnsworth fue sin duda, junto a Zworykin uno de los grandes pioneros de la televisión electrónica, si bien con mucho menos apoyo que éste.

En los Estados Unidos, la NBC (National Broadcasting Corporation), inició en 1939 transmisiones regulares en las poblaciones de Nueva York, Schenectady y Los Angeles, con la emisión de dos programas de una hora por semana. El sistema empleado fue el de la RMA (Radio Manufacturers Association), con 441 líneas, que evolucionaría posteriormente a 525 líneas por cuadro, con barrido entrelazado y 30 cuadros por segundo. En la figura 1.4 se muestra una de las cámaras utilizadas en la inauguración de la Feria Mundial de Nueva York en 1939. Esta cámara fue fabricada por RCA y utilizaba también el iconoscopio de Zworykin. El conferenciante de la fotografía es David Sarnoff vicepresidente entonces de la compañía RCA Victor, en el discurso que pronuncio "*El nacimiento de una industria*" predijo que la televisión llegaría a ser el medio más importante de información y entretenimiento.



Fig. 1.4. Cámara utilizada en Estados Unidos en 1939 en la conferencia de David Sarnoff en la Feria Mundial de Nueva York.

La evolución en Europa siguió caminos similares, dando lugar a diferentes sistemas y, en los años que siguieron a la Segunda Guerra Mundial la televisión fue alcanzando madurez técnica, sobre todo en los Estados Unidos, gracias a las innovaciones en los diferentes dispositivos y circuitos electrónicos que hicieron posible la generación y transmisión de imágenes de gran calidad. A finales de la década de los cuarenta, eran ya numerosos los países en que las transmisiones de televisión se realizaban en forma regular.

La British Broadcasting Corporation (BBC) inició transmisiones regulares de imágenes fijas con 30 líneas por cuadro en 1928 y, en 1936, con imágenes en movimiento utilizando dos sistemas en días alternos, uno el electromecánico de Baird, mejorado a una resolución de 240 líneas y otro, completamente electrónico de las empresas EMI y Marconi con resolución de 405 líneas. En 1937 este último, designado entonces como de “alta resolución” fue adoptado como estándardd en el Reino Unido. En los Estados Unidos, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) autorizó las transmisiones comerciales el 1 de julio de 1941, aunque como ya se mencionó, se venía transmitiendo desde hacía años de manera regular. En los años siguientes la televisión tuvo un período de hibernación a causa de la guerra y los experimentos en este campo se redujeron considerablemente. En 1942 se entrenó a unos 18000 vigilantes de incursiones aéreas, mediante una red de televisión y fue una de las raras ocasiones en que este medio de comunicación se utilizó en el contexto de la segunda guerra mundial.

Una aplicación militar de la televisión en la segunda guerra mundial fue para la dirección de bombas, mediante una cámara adosada a la parte inferior de la bomba, que no tenía propulsión propia, pero si podía planear, la imagen recogida por la cámara era transmitida al avión de bombardeo y se controlaba el vuelo del planeador por radio, la bomba y el sistema de visualización y control se muestran en la figura 1.5.

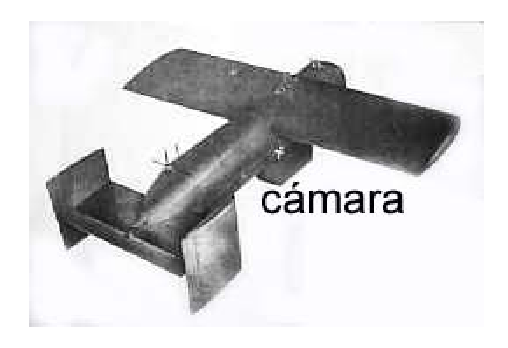




Fig. 1.5. Sistema de televisión para bombardeo aéreo

Las cámaras utilizadas para estos fines utilizaban iconoscopios y algunas, disectores de imagen y podían considerarse "compactas" para la tecnología de la época. Hay que tener en cuenta que en los años de la segunda guerra mundial, el transistor aún no se había inventado y toda la electrónica se basaba en válvulas de vacío, como se ilustra en la figura 1.6 en que se aprecia el iconoscopio a la izquierda y la electrónica con válvulas en la parte restante.

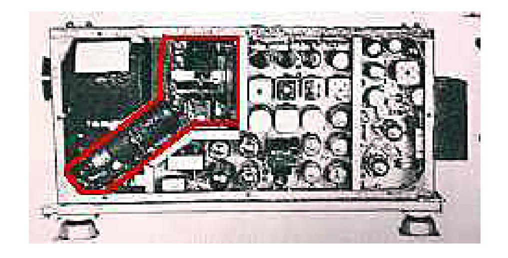


Fig. 1.6. Cámara utilizada para bombardeos aéreos
en la segunda guerra mundial

Si bien la tecnología de las cámaras no evolucionó de manera importante en esa época, uno de los campos relacionados con la televisión, el de los tubos de rayos catódicos, recibió un fuerte impulso, en buena medida porque estos dispositivos se utilizan en radar, sonar, loran[5] y localizadores de dirección por radio, así como en osciloscopios, instrumento indispensable de medida en electrónica y comunicaciones. Aún así, los tubos sensores de imagen continuaron evolucionando y, en 1945, la RCA introdujo el *orthicón de imagen*, que se muestra en la figura 1.5, y que también fue inventado por Zworykin[6]. Este tubo constituyó el avance más notable en la tecnología de cámaras de televisión, ya que su sensibilidad es tal que es capaz de producir una señal en cualquier condición de luz que resulte aceptable para el ojo humano; a modo de ejemplo, el orthicón ha llegado a producir señales válidas de televisión en escenas iluminadas únicamente por velas. Otra ventaja de este tubo, respecto al iconoscopio fue la de utilizar un área sensora (fotocátodo) relativamente pequeña, de unos 5 cm de diagonal, lo que en su época permitió reducir algo el tamaño y peso de las cámaras.

El orthicón está formado por un mosaico plano de cristal en uno de sus extremos. La cara interna de dicho mosaico está recubierta por una capa de un compuesto alcalino-metálico la cual constituye una superficie fotoeléctrica.. La emisión de electrones por parte de la capa se somete a aceleración y mediante un campo magnético intenso se enfoca sobre un cristal de

---

[5] Loran: *Long Rage Navigation* o navegación a largas distancias.
[6] Para un tratamiento amplio y detallado de la estructura y funcionamiento del orthicón de imagen, puede consultarse el texto del propio Zworykin: *Television, 2nd Edition*. V.K. Zworykin and G.A. Morton. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1954.

muy baja conductividad, llamado *placa acumuladora*. Frente de la placa hay una rejilla metálica con un mallado de unos 155.000 orificios por centímetro cuadrado. En la parte posterior de la placa, existe un cilindro metálico que recubre la parte interior del tubo y constituye el elemento de desaceleración. Finalmente, por detrás del anillo hay una capa en el cuello del tubo que actúa de ánodo. Al final del tubo hay un cañón de electrones y una estructura denominada multiplicador de electrones.



Fig. 1.7. Orthicón de imagen

Tanto el iconoscopio como el orthicón son tubos de tipo *fotoemisivo* y, aunque este último ofrece considerables ventajas en lo que respecta a la calidad de imagen, su tamaño es grande y no es adecuado para cámaras portátiles.

Además del orthicón de imagen, el disector de imagen inventado por Farnsworth y de menores dimensiones que aquél, resultó ser un tubo de cámara de excelentes características, capaz de generar imágenes de calidad similar al orthicón. En la figura 1.8 se ilustran dos tipos de disector, a la izquierda, de los primeros modelos y a la derecha, uno de diseño más moderno.





Fig. 1.8. Disectores de imagen

La razón principal por la que prevaleció el orthicón, en tanto que el disector se utilizó muy poco a pesar de sus buenas características no es precisamente técnica. Zworykin tenía todo el apoyo financiero de David Sarnoff, vicepresidente entonces de la RCA, empresa preponderante en la industria de radio y televisión, en tanto que Farnsworth no consiguió contar con apoyos similares y no consiguió comercializar el disector en la misma escala. En la actualidad aún se mantiene la controversia de si el verdadero padre de la televisión electrónica fue Farnsworth y no Zworykin, que incluso incorporó o, quizá, se apropió de

algunas de las ideas de Farnsworth en sus inventos. En cualquier caso, no se puede negar el mérito de ambos en el desarrollo de la televisión electrónica.

También en la década de 1940 se desarrollaron tubos de tipo fotoconductivo, el principal de ellos el *vidicón*, de tamaño bastante menor que el orthicón y del que se muestran dos tipos en la figura 1.9.



Fig. 1.9. Dos tipos de vidicón

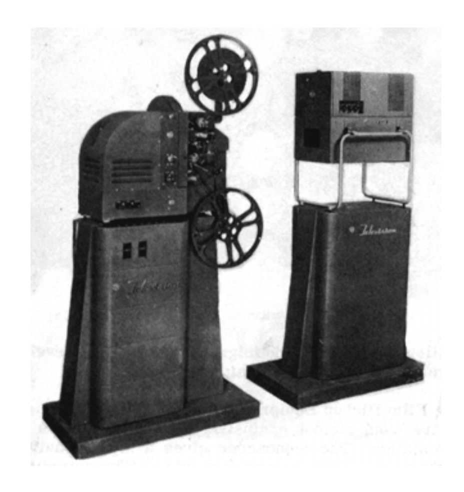
El vidicón, del que se desarrollaron numerosas variantes sobre todo para cámaras de color en la década de 1960 y posteriores, contiene una placa fotosensible[7] y un cañón electrónico que genera un haz de electrones para barrer la placa punto a punto. La placa fotosensible está formada por un alineamiento bidimensional de fotodiodos de silicio, con un cátodo común y ánodos aislados. La incidencia de luz sobre la placa produce pares electrón-hueco que, por recombinación da lugar a disminución de la carga superficial. El haz electrónico, enfocado sobre la placa y barriéndola punto a punto, deposita una cantidad suficiente de electrones sobre la placa para compensar la carga que se ha perdido desde el barrido anterior en cada punto. Esta carga es mayor en las zonas iluminadas de la placa que en las oscuras. El desplazamiento de la carga, que es igual a la carga depositada por el haz, produce la señal de vídeo en la entrada del amplificador acoplado al tubo.

El vidicón, inicialmente, no producía imágenes de la misma calidad que el orthicón, ya que requería más luz que éste para producir imágenes de cierta calidad, por ello, al principio se utilizó principalmente en *telecines*[8] (figura 1.10). Típicamente la película utilizada en los telecines de las décadas de los cincuenta y sesenta era de 16 mm, si bien luego se utilizó extensamente la de 35 mm y, eventualmente, de 70 mm. En la actualidad el telecine se utiliza principalmente para grabación de películas en medios magnéticos u ópticos para su transmisión o comercialización posterior.

---

[7] En los tubos de cámara esta placa fotosensible suele designarse con el término en inglés *target*

[8] El *telecine* consiste de una cámara de televisión sobre la que se proyecta la imagen de un proyector cinemátográfico, concentrada sobre la pequeña área de la placa fotosensible del tubo de cámara. La intensidad luminosa es considerable y, en esas condiciones, el vidicón resultaba más que adecuado.



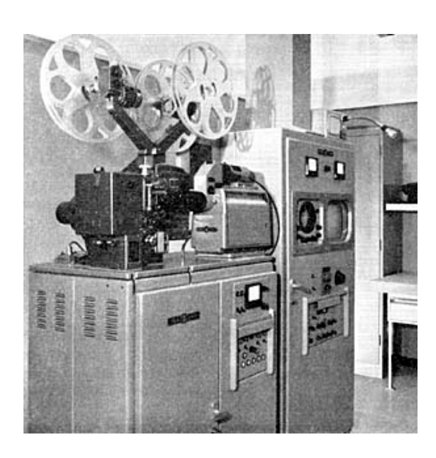
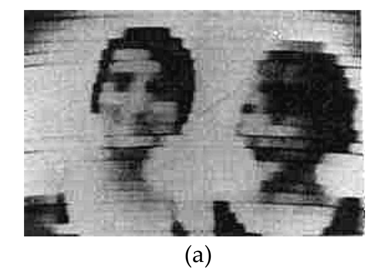


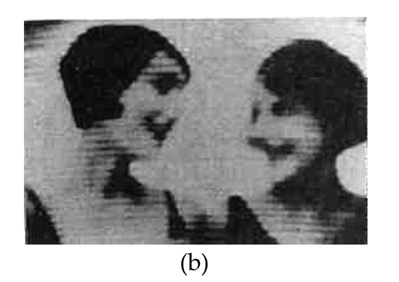
Fig. 1.10. Telecines típicos de los años 1950-60.

1.4 Estándardes

Los sistemas iniciales de televisión, en particular los electromecánicos, no obedecieron ningún estándardd determinado, si bien todos se basaron en el mismo principio de barrido o exploración de la imagen línea a linea, de izquierda a derecha y de arriba a abajo, de forma similar a como se lee un texto. Las primeras imágenes estaban formadas por cuadros de 30 líneas (véase figura 1.3), de modo que su calidad era muy baja. Ya del cine se había aprendido que para reproducir imágenes en movimiento es necesaria una secuencia continua de cuadros, proyectada con rapidez suficiente como para que no produzca parpadeo y de al espectador una sensación de continuidad. En los inicios del cine se proyectaban 16 cuadros por segundo, lo que producía un parpadeo desagradable, posteriormente se aumentó a 24 cuadros y, aunque el parpadeo resultaba notorio, era algo más aceptable. Hay que notar que en un proyector de cine la película no se mueve de forma continua, sino a saltos, de modo que cada cuadro se para unos instantes frente a la lámpara del proyector y se proyecta la imagen completa sobre la pantalla, de ahí que las películas tengan perforaciones en las orillas en las que penetra una rueda dentada que proporciona ese movimiento discreto o a saltos. En televisión no se puede transmitir la imagen completa de un cuadro, sino que es necesario transmitir secuencialmente uno a uno cada elemento de imagen que compone el cuadro. Esto es una complicación importante respecto al cine. Volviendo al parpadeo de la imagen, en el cine esto se resolvió proyectando cada cuadro dos veces sin aumentar la velocidad de la película. Para ello se introdujo un obturador en forma de dos brazos de una cruz de Malta que gira frente a la lámpara obstruyendo la luz y dejándola pasar dos veces hacia la pantalla mientras la película está parada. Esto da la sensación de que se proyectan el doble de cuadros y se reduce el parpadeo.

El número de líneas tiene que ver con la resolución de la imagen. Si el número de líneas es pequeño, el ojo no ve la imagen continua sino en franjas. Esto se aprecia en las imágenes de la figura 1.11, producidas con los primeros sistemas electromecánicos de televisión. Los primeros sistemas desarrollados por Baird tenían una resolución de 30 líneas que aún para imágenes muy pequeñas apenas puede resultar aceptable. El barrido a 48 líneas es algo mejor pero todavía la imagen es muy deficiente. El barrido a 150 líneas da lugar a una imagen razonablemente aceptable si es de dimensiones relativamente reducidas.


(a)


(b)


(c)

Fig. 1.11. Imágenes con barrido a 30 lineas por cuadro (a), 48 líneas (b) y 150 líneas (c).

En el Reino Unido se adoptó como estándardd el sistema electrónico de 405 líneas por cuadro en 1937 y fue, de hecho el primer estándardd de este tipo en el mundo. En los Estados Unidos se experimentó con diferentes números de líneas y finalmente se adoptó como estándardd el de 525 líneas por cuadro. Ambos sistemas, el británico y el estadounidense producían imágenes de calidad completamente aceptable.

Ya se mencionó que en el cine problema de parpadeo se resolvió proyectando 24 cuadros por segundo. En realidad 24×2 con el obturador en forma de cruz de Malta. Esta técnica no puede aplicarse a las imágenes de televisión. El número de cuadros por segundo adoptado en televisión estuvo sin duda influido por el cine, pero también en buena medida por la frecuencia de la línea de suministro de energía eléctrica, 60 Hz en los Estados Unidos y 50 Hz en Europa. El número de líneas por cuadro y de cuadros por segundo está directamente relacionado con el ancho de banda requerido para transmitir las imágenes. Cuanto mayor sea el número de líneas o el de cuadros, mayor será el ancho de banda necesario. El ancho de banda de una señal de televisión explorada a 525 líneas y 60 cuadros por segundo, o a 625 lineas y 25 cuadros, es del orden de unos 10 MHz, que si se transmite por radio, modulada en amplitud, ocuparía una banda de 20 MHz. Tomando un poco la idea del cine, Ulises Sanabria, estadounidense de ascendencia española, inventó el sistema de barrido entrelazado, de modo que cada cuadro se divide en dos campos, uno formado por las líneas pares y otro por las impares, de modo que la señal se genera a la mitad de la frecuencia de la línea de suministro de energía eléctrica, 30 cuadros/seg en los Estados Unidos y 25 cuadros/seg en Europa. Si los cuadros completos se transmitieran a esta frecuencia el parpadeo, aunque ligero, sería apreciable. Al generar dos campos por cada cuadro, cada uno con la mitad de las líneas, se explota una característica perceptual de la visión que actúa, en estas condiciones integrando la información de los dos campos en la imagen de un cuadro completo. De hecho esta es una forma de compresión de información, elemento fundamental en la televisión digital. Evidentemente, la idea de Sanabria fue empírica, muy ingeniosa, como muchas otras en el desarrollo de la televisión y gracias a ella fue posible hacer factible la transmisión con un ancho de banda "razonable".

En resumen, los estándardes de barrido adoptados fueron de 405 líneas/cuadro y 25 cuadros/seg, utilizado sólo en el Reino Unido hasta los años ochenta del siglo XX, 525 líneas/cuadro, 30 cuadros/seg y ancho de banda de la señal de vídeo de 4.2 MHz, en los Estados Unidos y otros países que adoptaron este sistema y 625 líneas/cuadro, 25 cuadros/seg y ancho de banda de vídeo de 5.2 MHz, adoptado en Europa y la mayor parte de los países del mundo. En Francia estuvo en uso durante algunos años un sistema monocromático de 819 líneas con un ancho de banda de vídeo cercano a los 10 MHz, pero dejó de usarse a principios de los años sesenta, ya que por una parte consumía un ancho de

banda excesivo para transmisión y, por otra parte, la calidad de la señal no era apreciablemente mejor que la de los sistemas de 525 o 625 líneas. Actualmente sólo dos sistemas prevalecen, el de 625 líneas, 25 cuadros y el de 525 líneas 30 cuadros.

En todos los casos anteriores la relación entre la anchura y la altura de la imagen, designada como *relación de aspecto* es de 4 a 3, es decir cuatro unidades de ancho por tres de alto. Estas dimensiones también son herencia de las imágenes cinematográficas. También en todos los casos el barrido es entrelazado.

No deben confundirse los estándardes de barrido con los estándardes de color, NTSC, PAL y SECAM que pueden utilizarse con cualquiera de los sistemas de barrido, excepto con el de 405 líneas en que, en principio, sólo pueden transmitirse señales monocromáticas. Por otra parte, los estándardes de barrido mencionados antes son los aceptados mundialmente para televisión y, en general, son diferentes a los utilizados en monitores de computadoras. En este terreno no se puede hablar de estándardes universales. Se trata de estándardes *de facto* (de hecho) y fueron originados por los diversos fabricantes de computadoras, ya que en este caso en algunas aplicaciones como el manejo de gráficos, se requiere mayor resolución que la que proporcionan los estándardes de televisión, lo que redunda en mayor número de líneas de barrido y frecuencias de cuadro mayores. También en el caso de computadoras se suele utilizar el barrido progresivo en lugar de entrelazado, es decir se exploran las líneas sucesivamente y no de forma alternada en dos campos.

La razón para que la frecuencia de cuadro esté relacionada directamente con la de suministro eléctrico es que tanto aquélla como la de línea deben ser sumamente precisas, ya que cualquier variación daría como resultado la pérdida de sincronismo de la imagen y, por tanto, su destrucción. En la época del desarrollo de los sistemas electrónicos de televisión la tecnología no estaba tan avanzada como ahora y eran necesarios osciladores de gran estabilidad, que aumentaban el precio de los receptores. Puesto que la frecuencia de la línea de suministro eléctrico es sumamente estable, una opción razonable fue la de enganchar la frecuencia de cuadro, o mejor dicho, la de campo, a la de la línea de energía.

1.5 Sistemas monocromáticos y de color

Hasta mediados de la década de 1950 los sistemas de televisión fueron monocromáticos, si bien en los años posteriores al término de la segunda guerra mundial y, principalmente en los Estados Unidos, se trabajó sobre la posibilidad de transmitir imágenes en color. Para era esencial que los sistemas de color fueran totalmente compatibles con los sistemas monocromáticos, es decir, los receptores monocromáticos debían poder reproducir, en blanco y negro, las señales transmitidas en color y, de la misma forma, los receptores de color, debían poder reproducir las señales monocromáticas. Se desarrollaron varios sistemas, cuyo detalle no analizaremos aquí y finalmente, el 17 de diciembre de 1953 se aprobó por la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos el sistema designado como NTSC[9] y se autorizó su funcionamiento comercial el 23 de enero de 1954. Fue adoptado luego por Canadá, Japón, México y posteriormente por la mayor parte de los países americanos con excepción de Argentina, Brasil y las colonias francesas y holandesas en América. Estos temas se tratan con mayor amplitud en el capítulo 4. Entre 1953 y 1967 se desarrollaron en

[9] National Television Standards Committee

Europa dos sistemas de televisión en color que, aunque basados en los mismos principios del sistema NTSC, presentaban algunas variantes





Fig. 1.12. Cámaras típicas de las décadas de 1950 y 1960

En la década de 1950-60 aún no se disponía de medios para grabar la señal de televisión ni tampoco de cámaras portátiles de televisión, cosa que hoy nos parece de lo más normal. Las cámaras de televisión, en su mayoría eran monocromáticas, utilizaban orticones de imagen y tecnología de válvulas electrónicas, por lo que eran de dimensiones considerables y, dependiendo del modelo fácilmente podían pesar de 40 a 60 kg, como se aprecia en la figura 1.12.

Las cámaras de televisión requieren de tres tubos o sensores de imagen. Las primeras utilizaban tres orthicones y llegaban a pesar cerca de 100 kg. Como se aprecia en la figura 1.13.



Fig. 1.13. Una de las primeras cámaras de color,
la RCA- TK41

En las imágenes anteriores puede verse que en las cámaras se utilizaba una "torreta" con cuatro lentes diferentes. Dichas lentes, todas de longitud focal fija se utilizaban para diversos acercamientos de la escena, entre ellos generalmente se tenía un gran angular, un telefoto y otros dos de longitudes focales intermedias. La lente en uso enfocaba la imagen sobre el fotocátodo del tubo de imagen en el interior de la cámara. Las lentes se colocaban en posición

mediante una palanca operada por el camarógrafo en la parte posterior de la cámara bien fuera manualmente como en la cámara de la derecha o mediante un motor accionado por in conmutador como en la cámara de la izquierda. A mediados de la década de los sesenta comenzó a extenderse el uso de lentes de longitud focal variable conocidos como *zoomar* o *zoom*, hoy incorporados en prácticamente todas las cámaras de televisión y la mayoría de las cámaras fotográficas.

En la fig 1.14 se ilustra una cámara monocromática con lente zoomar de finales de los años 50 y, en la figura 1.15, se ilustran tres tipos de lentes zoomar, en (a) uno de los primitivos, en (b), un zoomar para cámara de estudio y en (c) uno utilizado comunmente en cámaras portátiles.

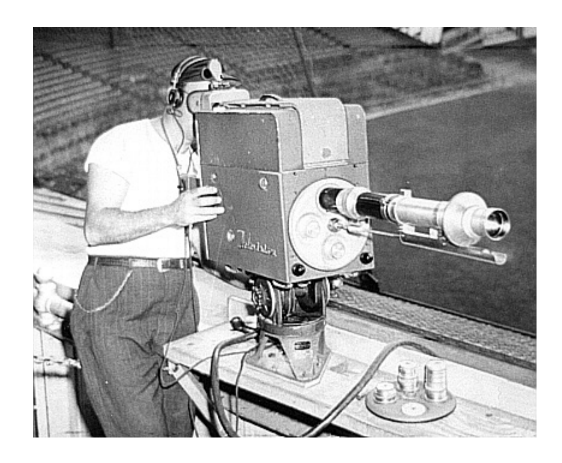


Fig. 1.14. Cámara con lente zoomar de finales de los años 50



(a) (b) (c)

Fig. 1.15. Tres tipos de lentes zoomar. (a) De los años cincuenta del siglo XX.
(b) y (c) Lentes zoomar usados en cámaras actuales.

La tecnología de cámaras de televisión fue evolucionando hacia el empleo de tubos de cámara de menores dimensiones basados en el principio de fotoconductividad, a diferencia del orthicón y del iconoscopio que son tubos fotoemisivos. Este tipo de tubos se desarrollaron también en la década de 1940 y se emplearon inicialmente en las cámaras adosadas a proyectores de película o *telecine*. El primer tubo del tipo fotoconductivo que se desarrolló para uso amplio en televisión fue el *vidicón*, de tamaño bastante menor que el orthicón y que se ilustra en la figura 1.9.

Al vidicón le siguieron otros tubos similares, entre los que puede mencionarse el *saticón* y, en la década de los sesenta y principalmente para cámaras de color, se desarrollaron el *plumbicón* (fig. 1.16), *leddicón*, *chalnicón*, etc., todos ellos basados en los mismos principios físicos, pero con diferentes materiales fotosensibles y distintas respuestas espectrales.



Fig. 1.16. Plumbicón

En el caso de estos tubos de cámara, la imagen se proyecta sobre un mosaico o *target* fotoconductor en forma de una placa muy delgada y constituido por una capa fina de material fotoconductor, de conductividad variable y directamente proporcional a la intensidad de la luz incidente. Este material fotoconductor se deposita sobre un electrodo transparente que actúa como la placa de señal y está cargado positivamente con respecto al cátodo emisor del haz electrónico. Este haz, al barrer secuencialmente la superficie del mosaico, deposita una cantidad suficiente de electrones sobre éste para compensar la carga en cada punto, que es mayor en las zonas más iluminadas y menor en las oscuras. La cantidad de carga depositada por el haz electrónico da lugar a una corriente de señal que, en cada instante, será proporcional a la intensidad de luz incidente sobre cada punto del target.

En las últimas décadas del siglo XX los avances en los dispositivos de estado sólido han sido considerables y, en la actualidad, prácticamente todas las cámaras de televisión utilizan este tipo de sensores de los que, el más común está constituido por matrices de dispositivos acoplados por carga (CCD[10]), inventados en 1969. El principio de funcionamiento de estos dispositivos es completamente diferente al de los tubos de cámara, si bien la señal que entregan, al igual que los tubos de cámara es *analógica*. En la figura 1.17(a) se muestra un sensor CCD de alta resolución y, en la 1.17(b), un sensor de línea del tipo usado en máquinas de facsímil (fax) y escáneres.

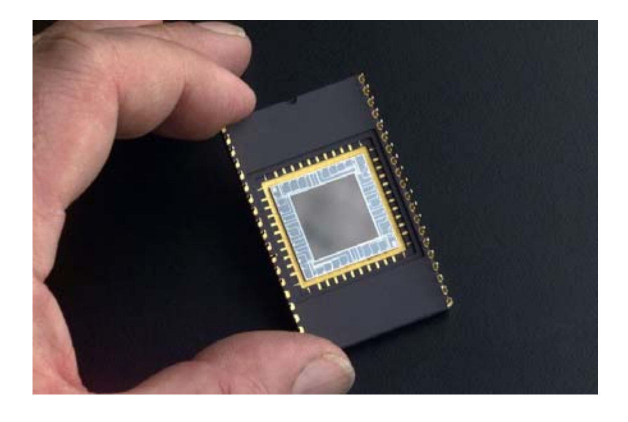


Fig. 1.17(a) Sensor CCD de alta resolución

[10] *Charge Coupled Device*.

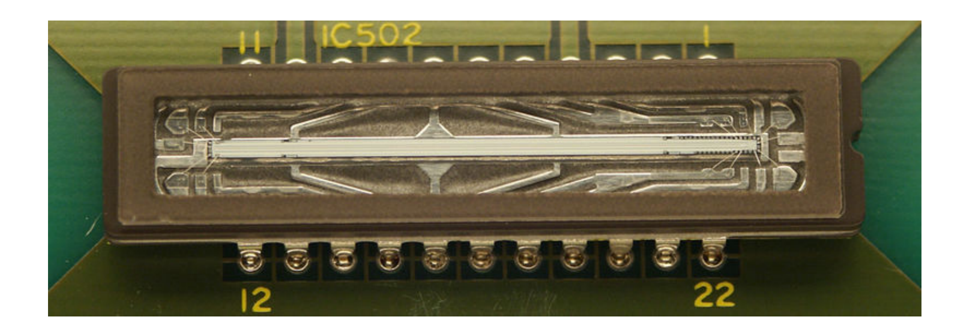


Fig. 1.17(b). Sensor CCD de línea.

El empleo de dispositivos acoplados por carga permitió grandes avances en el desarrollo de las cámaras, reduciendo considerablemente su tamaño y peso. Las primeras cámaras verdaderamente portátiles comenzaron a aparecer en el mercado a mediados de la década 1970-80, como la que se ilustra en la figura 1.18.



Fig. 1.18. Cámara profesional portátil con CCD.
(*Foto cortesia de Ikegami Electronics*)

1.6. Generación y procesado de la señal de TV.

La señal de televisión está constituida, en general y en su forma más simple, por la señal de vídeo y la del audio asociado. Estas señales son eléctricamente independientes y se generan de forma diferente, si bien deben guardar una relación precisa entre sí. Cuando en la televisión se reproduce una escena del mundo real, para la generación de la señal de vídeo se emplea una *cámara*, que mediante un transductor opto-eléctrico, convierte la luz de la escena en una señal eléctrica. Si la escena ha sido previamente filmada en película, ésta se proyecta también sobre una cámara (telecine) de características similares. La señal eléctrica resultante puede manejarse en el dominio analógico o en el digital y sufrir diversos procesos antes de su transmisión en tiempo real, o bien puede ser almacenada en medios magnéticos (cinta o disco) u ópticos (videodisco), para su procesado y transmisión posteriores. Otra forma de generar señales de vídeo es por medios puramente electrónicos, en cuyo caso se tienen imágenes *artificiales* o *sintéticas*, de las que el ejemplo más común son los videojuegos y los

dibujos animados. Así, las fuentes de señal de vídeo pueden ser cámaras, magnetoscopios[11], discos magnéticos u ópticos, computadoras, etc.

La señal de audio o sonido se genera de forma independiente a la de vídeo y dicha generación puede ser simultánea, como en el caso de una escena real o una película, o bien el audio puede insertarse posteriormente mediante un proceso de *edición* o *postproducción*, como ocurre con frecuencia cuando se agrega música o efectos sonoros a materiales visuales previamente grabados.

Es importante enfatizar que, tanto la señal de vídeo como la de audio en su forma original, son *analógicas* y, en los sistemas digitales requieren ser convertidas a señales digitales. En los capítulos 4 y 5 se tratan con mayor detalle las características de ambos tipos de señal. El conocimiento de la señal analógica de vídeo, independientemente de que los sistemas analógicos se empleen cada vez menos, es fundamental para comprender adecuadamente los procesos a que se somete la señal de vídeo en el dominio digital.

En la realización de un programa de televisión o en un sistema de circuito cerrado, se utiliza generalmente más de una cámara y de una fuente sonora, por lo que es necesario mezclar las señales y, con frecuencia, agregar efectos especiales tanto visuales como audibles, para lo que se utilizan mezcladores[12]. Además es necesario sincronizar y distribuir las señales en el entorno del estudio[13] o centro de producción, así como efectuar las correcciones necesarias para mantener la calidad adecuada de las señales y visualizarlas en múltiples lugares mediante monitores, tanto de vídeo como de *forma de onda* y de audio. Las señales de los diferentes estudios deben también encaminarse adecuadamente, bien sea para su grabación o transmisión. En la figura 1.19 se muestra esquemáticamente, y muy simplificada, la porción del sistema correspondiente a la generación de la señal de vídeo.

[11] También es frecuente el término *máquina de videotape*.
[12] Al mezclador de audio se le designa a veces en el medio televisivo como *mesa de mezclas* y al de vídeo como *switcher, generador de efectos especiales o SEG*, de las iniciales en inglés de "Special Effects Generator".
[13] En estas notas se emplea el término estudio, en lugar de "plató", con el que a veces se designa en España y que es poco frecuente en otros paises de habla española. El vocablo "set", designa generalmente la porción del estudio en que se monta la escenografía para un programa. Así, en un estudio pueden estar montados varios sets simultáneamente.

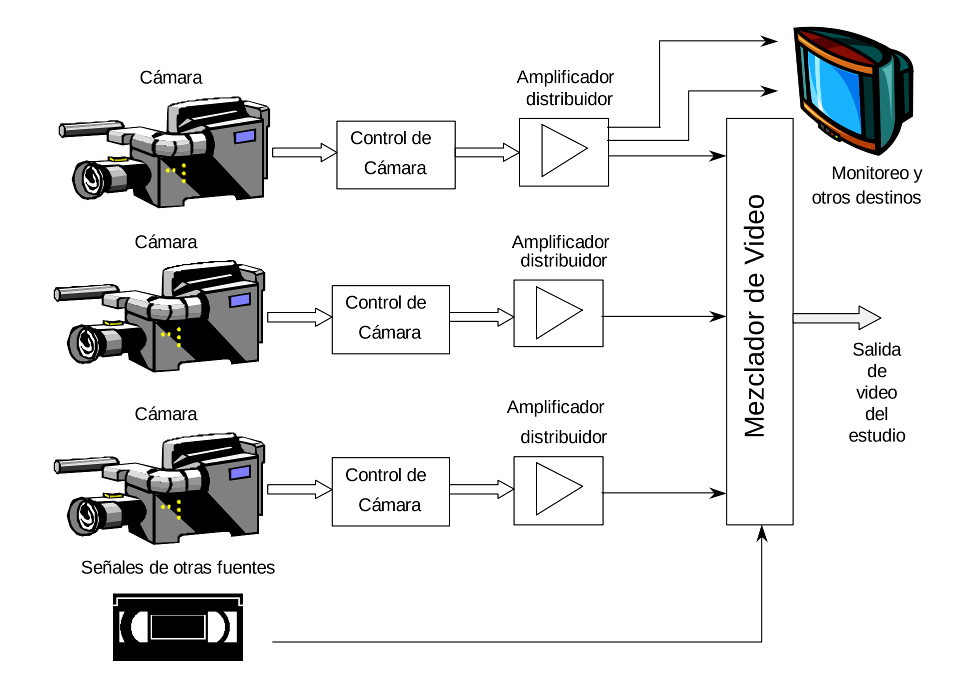


Fig. 1.19. Generación de la señal de vídeo en el estudio de TV.

Las fuentes de audio son, por lo general, micrófonos y reproductores de cinta magnética o de disco compacto (CD) y, en el dominio analógico, se conducen y procesan por separado, pero paralelamente a las señales de vídeo. En la figura 1.20 se ilustra, también de forma muy simplificada, el proceso de generación de la señal de audio.

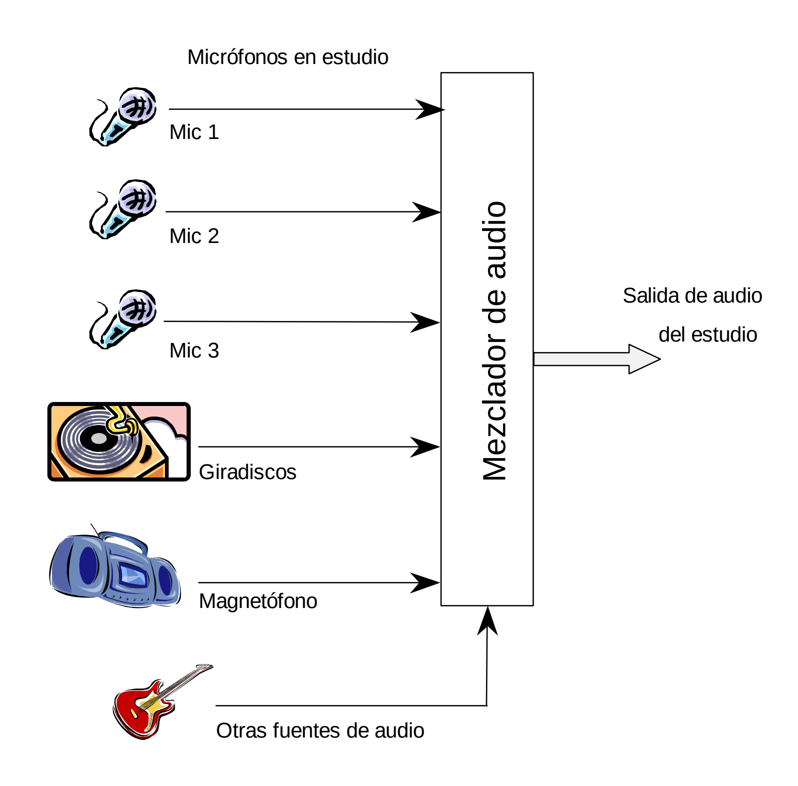


Fig 1.20. Generación de la señal de audio en el estudio de TV.

1.7. Clasificación de los sistemas de televisión

La generación, transmisión y manipulación de imágenes y sonido ha pasada a ser una actividad cotidiana en las sociedades de los países desarrollados, de modo que la televisión tradicional es actualmente una parte, si bien importante, de un contexto mucho más amplio de las aplicaciones de la imagen y el sonido, de modo que no es fácil apegarse a lo que podrían designarse como clasificaciones tradicionales. Aún así, y desde el punto de vista de su aplicación, mantendremos la idea tradicional de que los sistemas de televisión pueden ser de difusión al público en general, ya sea en forma abierta o restringida, o bien puede tratarse de sistemas llamados de *circuito cerrado*, como los empleados para vigilancia, aplicaciones educativas, médicas, etc., o bien para uso personal, doméstico o comercial. Según el tipo de señales que manejan, puede tratarse de sistemas analógicos o digitales y, según la calidad de la imagen transmitida se puede hablar de sistemas de definición limitada, estándardd o alta. Estas clasificaciones no son las únicas y, como consecuencia de la evolución actual, surgen nuevos criterios. Sin embargo, las clasificaciones anteriores resultan suficientes para agrupar la mayor parte de los casos y permiten establecer un punto de partida para su estudio. Otros casos como la videoconferencia, la transmisión de imágenes y sonido por Internet o teléfonos móviles, la convergencia entre la televisión y las computadoras y otras numerosas aplicaciones que van surgiendo rápidamente, pueden tratarse como casos que requieren tratamiento particular y quedan fuera del contexto de esta obra.

Aunque a corto o medio plazo, es decir unos cuantos años, los sistemas digitales de televisión prevalecerán y no es fácil predecir la supervivencia y aplicaciones de los sistemas analógicos en el futuro. Aún así, independientemente del tipo de sistema, nos referiremos aquí como sistemas de televisión a aquellos que obedecen estándardes bien definidos por organismos internacionales de comunicaciones u otras instituciones normativas de alcance internacional y no a sistemas que siguen estándardes *de facto*, producidas por fabricantes específicos. En este contexto, hay varias características que son comunes desde el punto de vista de clasificación de los sistemas de televisión.

Tipo de transmisión. En términos generales, puede hablarse de sistemas radioeléctricos o de cable, incluyendo en esta categoría a los de fibra óptica. Los sistemas radioeléctricos son aquellos en que el transporte de información se realiza mediante ondas electromagnéticas propagadas en el espacio y, a su vez, pueden clasificarse en sistemas terrestres, vía satélite o vía microondas terrestres, tanto punto a punto como de distribución a zonas amplias.

Sistemas de barrido. Según se mencionó en la sección 1.2, todos los sistemas de televisión se basan en la exploración o barrido de una imagen que se considera formada por un conjunto de líneas horizontales y éstas, a su vez, por una sucesión de elementos de imagen. La imagen, o *cuadro*, se explora línea a línea horizontalmente y de arriba a abajo. El número de líneas horizontales, así como el número de elementos en cada línea determinan la *resolución de la imagen*.

Para mantener el ancho de banda en niveles aceptables se recurrió a un procedimiento ingenioso que consiste en dividir cada cuadro en dos *campos*, uno formado por las líneas pares y otro por las impares. En un primer barrido se exploran solamente las líneas impares y a continuación las pares. La cercanía entre líneas y las características perceptuales de la

visión humana producen un efecto similar al de la proyección de dos cuadros sucesivos, reduciéndose el parpadeo a niveles prácticamente imperceptibles. La frecuencia de cuadro se estableció, en unos casos en 30 por segundo (60 campos) y en otros en 25 (50 campos).

Los principales sistemas de barrido que se han utilizado han sido los siguientes:

405 líneas por cuadro, 25 cuadros por segundo. Estuvo en uso en Inglaterra desde 1936 hasta alrededor de 1980.

525 líneas por cuadro, 30 cuadros por segundo. El estándard para este sistema fue definido en los Estados Unidos y está en uso desde 1941. Es utilizado en todos los países de América con algunas excepciones y en Japón.

625 líneas por cuadro, 25 cuadros por segundo. Es el sistema utilizado en Europa y la mayor parte de los países de Asia, África y Oceanía.

819 líneas por cuadro, 50 cuadros por segundo. Fue utilizado en Francia, pero los inconvenientes que ofrece desde el punto de vista de ancho de banda (10 MHz), sin ofrecer ventajas apreciables en lo que respecta a calidad subjetiva de la imagen, hicieron que dejara de utilizarse.

En la actualidad los únicos sistemas de barrido utilizados, tanto en sistemas monocromáticos como de color, son los de 525/30 y el de 625/25 y, es muy importante hacer notar que el sistema de barrido es independiente del sistema de color y no deben confundirse.

En el caso de sistemas analógicos el barrido es, invariablemente, *entrelazado*, es decir, cada cuadro se divide en dos campos, uno formado por las líneas pares y otro por las impares.

En los sistemas digitales es posible hablar de barrido entrelazado o de barrido *progresivo*, en que el cuadro no se divide en campos y se exploran secuencialmente todas las líneas.

También es muy importante tener en cuenta que los sistemas o estándardes de barrido de 525 líneas/30 cuadros y de 625 líneas/25 cuadros son para *televisión* y no son necesariamente los mismos que se utilizan para la reproducción de imágenes en *computadoras.* Para los monitores de computadoras no hay un estándardd de barrido definido y cada fabricante utiliza su propio estándard *de facto*, por lo que en este campo se encuentran diferentes frecuencias de línea y cuadro que en general, no son compatibles con las de televisión.

Sistemas de color. En la actualidad, prácticamente todos los sistemas de televisión tanto analógicos como digitales son de color. Hasta no hace muchos años podía hablarse de sistemas *monocromáticos* que sólo se transmite la información de brillo (luminancia), que da lugar a una imagen en escala de grises, lo que ha hecho común el uso del término *blanco y negro*. Sin embargo, una imagen en blanco y negro como por ejemplo el texto de esta página, es una imagen de sólo dos tonos, es decir, *bitonal*. Actualmente la tecnología ha hecho posible la realización de cámaras de color prácticamente microscópicas.

Para reproducir una imagen de color se requiere, además de la información de brillo o luminancia de la escena, la información correspondiente a tres colores que se designan como primarios, mediante cuyas combinaciones es posible formar cualquier otro color. La

información de color se procesa de modo que, a partir de las señales correspondientes a los colores primarios, se generan dos señales complejas que contienen toda la información cromática necesaria para reconstruir la imagen y que se transmiten junto con la señal de luminancia en el mismo canal. La señal de luminancia es de banda ancha y de ella dependen los detalles finos de la imagen, en tanto que las de crominancia ocupan menor ancho de banda y pueden multiplexarse en frecuencia dentro de la misma banda ocupada por la luminancia, haciendo que las dos señales de crominancia modulen, en cuadratura de fase a una subportadora, designada como *subportadora de color*, cuya frecuencia está determinada por consideraciones que se tratarán en el capítulo dedicado a la señal analógica de vídeo.

El primer sistema de televisión cromática empezó a utilizarse públicamente en los Estados Unidos en enero de 1954. Los estándares para este sistema fueron definidos por el NTSC (National Television System Committee) y autorizados por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de ese país en diciembre de 1953. Este sistema, designado comúnmente como *sistema NTSC* fue adoptado subsecuentemente por Canadá, Japón, México y la mayoría de los países americanos a excepción de Brasil y Argentina. El hecho de que a más de 40 años de su definición y adopción, estos estándares continúen aplicándose para generar señales de televisión cromática de buena calidad, es el mejor testimonio de la validez y aplicabilidad de los principios fundamentales sobre los que se basó la selección de técnicas y parámetros específicos.

Hay que tener en cuenta que el advenimiento de los sistemas de televisión cromática ocurrió cuando ya estaban en funcionamiento los sistemas monocromáticos, de modo que un requisito fundamental en el desarrollo de la televisión cromática fue la *compatibilidad* con los sistemas monocromáticos. Es decir, los receptores monocromáticos deben ser capaces de reproducir, en "blanco y negro" las imágenes transmitidas en color y, por otra parte, los receptores de color deben reproducir, también en blanco y negro, las imágenes monocromáticas.

En Europa, la adopción de los sistemas de color no se llevó a cabo sino hasta 1967 y, aunque el sistema NTSC es aplicable a los sistemas de 625 líneas, en este continente se desarrollaron dos sistemas alternativos: PAL en Alemania y SECAM en Francia. Su evolución, en cierta medida, estuvo condicionada no sólo por aspectos puramente técnicos, sino por circunstancias de índole política y económica. Las diferencias técnicas entre NTSC, PAL y SECAM se deben más a consideraciones de tipo tecnológico que a razones teóricas fundamentales.

La mayoría de las técnicas básicas del sistema NTSC se incorporaron en los otros dos sistemas, por ejemplo, el empleo de una señal de luminancia de banda ancha y dos señales de crominancia de banda relativamente estrecha multiplexadas en frecuencia en la misma banda de luminancia. Este multiplexado es posible gracias a que el espectro de las señales de luminancia y crominancia no son continuos, sino discretos y las componentes espectrales están presentes a múltiplos de las frecuencias de línea y cuadro, dejando espacios vacíos en los que es posible intercalar o imbricar ambos espectros. Este imbricado, que se sigue también en PAL y SECAM, es necesario para reducir la visibilidad de las señales que contienen información cromática, ya que están en la misma banda de frecuencias que las

señales monocromáticas de luminancia y su efecto se manifiesta en forma de puntos fijos, o móviles según el caso, en la imagen monocromática.

En la actualidad, los sistemas cromáticos en uso en el mundo pueden resumirse como sigue[14]:

> **NTSC:** Sistema utilizado en América con excepción de Argentina y Brasil. Fue adoptado también en Japón y algunos otros países asiáticos.
>
> **PAL:** Sistema utilizado en Europa y el resto del mundo, excepto en los casos siguientes:
>
> **SECAM:** Sistema utilizado en Francia, la antigua Unión Soviética y los países de Europa Oriental y Asia con influencia soviética, así como la mayor parte de las antiguas colonias francesas en África y Asia, además de Irán y Egipto.
>
> El sistema más utilizado a nivel mundial es el PAL 625 seguido por el NTSC 525 y el menos utilizado el SECAM.

Independientemente de que se trate de sistemas analógicos o digitales, debe recordarse que la reproducción de las señales de televisión, tanto de audio como de vídeo son esencialmente procesos analógicos, de modo que los sistemas anteriores siguen manteniéndose y, una de las principales razones para ello son las frecuencias de línea y cuadro. La integración de las computadoras en el medio de la televisión y viceversa, probablemente modificarán de alguna forma estas divisiones en el futuro. Sin embargo no es posible aventurar en que medida se verá afectada esta división tradicional de los sistemas de televisión.

Sistemas abiertos y de acceso restringido. En las condiciones actuales pueden considerarse como sistemas abiertos los que utilizan transmisión radioeléctrica terrestre, para la recepción de cuyas señales sólo es necesario un receptor de televisión convencional sin ningún aditamento adicional. También pueden considerarse como sistemas abiertos los de televisión por satélite, en que las señales no están codificadas y pueden recibirse mediante receptores de satélite de fácil adquisición en el mercado de consumo, sin necesidad de contratos ni del pago de tasas especiales por acceder a esa programación.

Como sistemas de acceso restringido pueden considerarse aquellos que requieren de aditamentos adicionales al receptor convencional, por ejemplo decodificadores, terminales de cable, etc. Entre éstos se cuentan, además, los sistemas de circuito cerrado (CCTV), estructurados con redes de cable o en bandas de frecuencia diferentes a las utilizadas por los servicios públicos y cuyas aplicaciones pueden ser variadas: vigilancia, transmisión de clases en escuelas, transmisión de operaciones en hospitales, etc.

1.8 Evolución de los sistemas de televisión

La XI Asamblea Plenaria del CCIR realizada en Oslo en 1966, intentó implantar estándares únicos para un sistema universal de televisión, particularmente en el terreno de la TV

4 Una relación detallada de los sistemas de televisión usados en cada país del mundo, se encuentra en el Anexo al Informe 624 del CCIR.

cromática; sin embargo, en esta época el sistema NTSC había madurado y llevaba cerca de quince años en funcionamiento en los Estados Unidos y numerosos países de América y Asia. Por otra parte, en Europa, prevalecían sentimientos nacionalistas, particularmente en Alemania y Francia donde se habían desarrollado sistemas alternativos al NTSC que estaban listos para entrar en funcionamiento, de modo que las discusiones en este terreno no fructificaron y el CCIR, en lugar de generar una recomendación unánime para un sistema único, se vio obligada a producir sólo un informe[15] describiendo las características de una amplia variedad de sistemas, a la vez que produjo una serie de recomendaciones, pero se dejó a las organizaciones de cada país la elección del sistema a adoptar. Este resultado no es sorprendente, ya que uno de los requisitos fundamentales de los sistemas de color es su compatibilidad con los sistemas monocromáticos existentes y éstos ya estaban implementados en muchos países, de modo que se mantuvo la variedad de factores técnicos en uso, tales como número de líneas, frecuencia de cuadro, ancho de banda, tipo de modulación, frecuencia de la portadora de audio, etc.

La heterogeneidad de sistemas ha sido un obstáculo para el intercambio de programas, tanto en directo como grabados y obligó a desarrollar equipos especiales para la conversión de estándares, inicialmente de tipo electro-óptico y, a principios de la década de los 70, electrónicos. El intercambio del material filmado continúa siendo, en gran medida, independiente de estos problemas. Por otra parte, el empleo creciente de técnicas digitales para el procesado de las señales de vídeo desde hace bastantes años, ha conseguido lograr elevados niveles de calidad y facilitado el problema de conversión que, en la actualidad, puede considerarse mínimo.

Las características de los diversos sistemas analógicos de TV están resumidas en el Informe 624 del CCIR. En todos los casos la relación de aspecto de la imagen (anchura/altura) es de 4/3, la secuencia de barrido es de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. El barrido es entrelazado con relación de 2/1, resultando en una frecuencia de cuadro igual a 1/2 de la frecuencia de campo. En el estado actual de la tecnología, todos los sistemas son capaces de operar con sincronismo independiente de la frecuencia de la línea de suministro de energía eléctrica.

Los sistemas NTSC, PAL y SECAM permiten la generación, transmisión y recepción de imágenes de gran calidad, aceptables por prácticamente cualquier observador. Son sistemas concebidos cuidadosamente que, para su desarrollo técnico se basaron en aspectos perceptuales de la visión humana y tuvieron en cuenta los aspectos fisiológicos y psicológicos de lo que puede designarse como un “observador normal”. Por consecuencia, emergieron como sistemas maduros cuyas eventuales limitaciones se debieron principalmente a la tecnología de la época que, al ir evolucionando en las últimas décadas, permitieron mejorar la calidad de la señal de televisión y resolver, cada vez mejor, algunos de los problemas inherentes a cada uno de los sistemas. Sin embargo, los principios originales en que se basan se mantienen casi invariables hasta nuestros días y siguen siendo válidos aún para los recientes sistemas digitales.

[15] Informe 624 del CCIR.

Una razón importante para ello es que la base técnica de los estándares aplicados en los tres sistemas de televisión en uso, se fundamenta en la ciencia de la colorimetría[16]. Así, para desarrollar un sistema de televisión cromática es necesario establecer un método que permita especificar la sensación deseada de color y calcular el color percibido, correspondiente a una cierta distribución espectral de energía. Los conceptos de *matiz*, *saturación* y *brillo*, junto con la capacidad tecnológica para analizar la luz que emana de una escena en tres distribuciones espectrales de colores primarios, permiten diseñar los sistemas de comunicaciones para recombinar los valores específicos de las señales de color en las proporciones adecuadas en el receptor, a fin de que la sensación visual de los colores reproducidos corresponda, perceptualmente, a los de la escena original. Los estándares del sistema NTSC y, con diferencias poco significativas, los de PAL y SECAM, definen los procesos eléctricos necesarios para obtener estos resultados, dentro de los límites de un canal específico de comunicaciones.

Como consecuencia de lo anterior y, con referencia a los sistemas analógicos, es decir de 525 o 625 líneas, la evolución no ha sido realmente en el sentido de modificar los estándares básicos, sino en el de mejorar la calidad de las señales visuales y audibles, buscando por una parte la reducción o eliminación de los problemas inherentes a dichos sistemas y por otra, la adición de servicios de valor añadido, como pueden ser teletexto, sonido estereofónico o dual, etc. En otra línea, se sitúan los sistemas analógicos de alta definición (HDTV) que fueron objeto de investigación y desarrollo durante casi dos décadas, sin llegar a cristalizar en estándares definitivos y que, si bien se intentó utilizar en algunos países como Japón, no resultó aplicable a nivel de consumo masivo a causa del elevado costo de los receptores así como por las seria dificultad que plantea el ancho de banda adicional necesario para la transmisión analógica terrestre. Con el estado actual de desarrollo de la televisión digital, la televisión de alta definición se ha convertido en una realidad viable y, por consecuencia, la HDTV analógica ha dejado de ser objeto de consideración.

En Japón se realizaron avances importantes en la NHK[17] en el terreno de la HDTV, sin embargo no se llegó a un estándard definitivo ya que entraron en conflicto los intereses de europeos, estadounidenses y japoneses, al tratar de imponer cada grupo diferentes números de líneas y frecuencias de cuadro. En Europa, las investigaciones sobre HDTV continuaron bajo el proyecto EUREKA, establecido alrededor de 1985, en el que se agruparon empresas industriales, así como instituciones educativas y otras. El proyecto EUREKA tuvo objetivos similares a los del ATSC estadounidense (*Advanced Television Systems Committee*) y al comité canadiense paralelo, CABSC (*Canadian Advanced Broadcast Systems Committee*), cuyos intereses conjuntos eran desarrollar un estándard amplio para la HDTV en esos países. Las diferencias en las frecuencias de cuadro y campo, en los conceptos de exploración entrelazada o progresiva, así como otros aspectos que sería largo enumerar, dieron lugar a que no se llegara a ningún acuerdo entre las partes, independientemente de las recomendaciones del CCIR. El único consenso parece haber sido en la relación de aspecto de 16:9.

[16] Pritchard, D.H. "US Color Television Fundamentals - A Review". IEEE Transactions on Consumer Electronics. Vol. CE-23, pp. 467-478, Nov. 1977.

[17] NHK: Nippon Hoso Kyokay. Corporación Japonesa de Radiodifusión, que tiene a su cargo todos los sistemas de radiodifusión sonora y televisión de servicio público en Japón y mantiene, además, un importante centro de investigación científica y tecnológica.

Todos los sistemas de HDTV investigados planteaban un problema muy serio para la radiodifusión terrestre, ya que, o bien era necesario un ancho de banda adicional de 3 a 6 MHz, no fácilmente disponible ni adjudicable en las actuales condiciones de asignación de canales en el espectro radioeléctrico, o bien concebir algún sistema que permitiera empaquetar en el ancho de banda de 6 MHz, el exceso de información que conlleva la señal de alta definición que, por otra parte y desde el punto de vista de la radiodifusión terrestre, en principio debería ser compatible con los sistemas de definición estándard en uso.

Un motor muy importante para el desarrollo de la televisión lo constituye el hecho de que, en toda sociedad, hay gente dispuesta a pagar grandes cantidades por objetos o servicios que los distingan de los demás. Así, una buena parte de los nuevos equipos y sistemas tendrán como destino principal este sector, al menos en el futuro previsible, ya que el objetivo de la televisión en el contexto de la sociedad actual, es vender ya sea programas o productos. Sin embargo, por razones que tendrían que explicarse en el contexto de otras disciplinas como la sociología o la psicología, la demanda de material televisivo es creciente y no parece tener límite. En general, al espectador le interesa más la cantidad que la calidad y los aspectos técnicos quedan, por tanto, condicionados por este hecho y subordinados a él.

En este contexto se sitúa también la búsqueda de nuevos sistemas de transmisión que permitan hacer llegar al consumidor una cantidad de programas muy superior a la que actualmente es posible ofrecer por los sistemas de radiodifusión terrestre, dada la saturación del espectro que hace casi imposible la asignación de nuevos canales con el actual esquema de distribución espectral. Asimismo, durante bastantes años se consideró importante poder implementar sistemas de alta definición que pudieran, en cierta forma, competir con el cine y permitir la transmisión del inmenso acervo de material filmado con calidad sino igual, por lo menos cercana a la de las imágenes en pantalla cinematográfica.

Sin embargo, es necesario reconocer que esta presión comercial ha servido de acelerador a desarrollos tecnológicos difíciles de concebir hace veinte o treinta años y cuyo producto más claro es la televisión digital que, literalmente, está rompiendo todos los esquemas tradicionales tanto en el medio de producción como en el de transmisión, al grado de que no es posible predecir el futuro de la televisión poco más allá de lo inmediato. De acuerdo a los planes recientemente aprobados por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los Estados Unidos, los sistemas de radiodifusión terrestre de televisión en su forma actual en ese país, habrán desaparecido para el año 2008 y serán reemplazados por sistemas digitales que volverán obsoletos a los millones de receptores actuales, haciendo necesario el uso de unidades adicionales externas para decodificar la señal. En Europa la situación sigue un camino similar.

1.9 Sistemas digitales de televisión

Es importante distinguir entre el *procesado* o *tratamiento digital de imágenes* y la televisión digital. Los intentos por tratar las imágenes en forma digital se remontan a hace alrededor de cuarenta años y las investigaciones y desarrollos en ese terreno son numerosos. Gracias a las técnicas de procesado digital de imágenes ha sido posible, por ejemplo, recibir fotografías de vehículos espaciales en misiones de exploración del sistema solar, identificar tejidos biológicos en radiografías, etc. Tales aplicaciones, no se consideran estrictamente como de

televisión, si bien han encontrado en ella un importante campo de aplicación, en el que se sustentan los principios de la televisión digital. Aquí se tratan únicamente los relacionados con televisión sin profundizar en el terreno del procesado digital de imágenes, que constituye un amplio campo de estudio, fuera del contexto de este texto.

Aún cuando para fines de producción de programas se han venido aplicando técnicas digitales desde hace bastante tiempo, principalmente en la generación de efectos especiales y, más recientemente en grabación y edición, lo cierto es que en general, el entorno del centro de producción ha sido analógico y sólo hasta hace unos pocos años se proyectaron y construyeron centros de producción totalmente digitales, en los que prácticamente todas la operaciones se realizan en el entorno digital. La excepción a lo anterior, como ya se mencionó, lo constituye la propia generación de la señal en la cámara que es, en general, un proceso analógico por la propia naturaleza de los transductores optoelectrónicos. El término *televisión digital*, en la forma en que se aplica habitualmente, no es suficientemente preciso como para especificar si todo el proceso, desde la generación de la imagen y el sonido asociado, hasta su transmisión y recepción final son en el dominio digital, o si sólo se pretende indicar que algunas partes del proceso se realizan manejando la información en forma digital. En los Estados Unidos se viene utilizando el término *televisión avanzada* (ATV) que parece más adecuado ya que no restringe la posibilidad de que la señal pueda manejarse en forma analógica, digital o una combinación de ambas como es el caso más general.

De nuevo, intentar detallar la secuencia en que la tecnología digital fue aplicándose cada vez más a la producción de programas y materiales de televisión, resulta muy difícil. Independientemente de la tecnología aplicada en el centro de producción, prácticamente hasta 1993 no se tomaron acciones formales sobre la posibilidad de emplear técnicas digitales en los sistemas de radiodifusión terrestre, cuya limitación en el ancho de banda del canal a 6 u 8 MHz, según el estándard utilizado, planteaba serias dificultades para empaquetar en él una señal binaria cuyo caudal inicial al ser generada es del orden de 200 Mbit/s. Por otra parte, se habían llevado a cabo múltiples investigaciones para intentar transmitir señales de alta definición en forma analógica, cuyo ancho de banda mínimo es del orden de 9 MHz y, ya en 1986, había cinco propuestas para sistemas de radiodifusión que estaban siendo analizadas en los Estados Unidos, de las cuales dos eran vía satélite y las otras tres terrestres. Se pensaba entonces que la radiodifusión terrestre de señales de alta definición sería posible si los radiodifusores podían disponer de ancho de banda adicional para transmitir la "señal aumentada" que requeriría la televisión de alta definición. Las principales acciones concretas en este terreno se llevaron a cabo en los Estados Unidos en tanto que en Europa y Japón, por razones diversas, las tendencias se orientaban en otras direcciones, principalmente en el empleo de satélites de radiodifusión.

A principios de 1987[18], la FCC consideró la reasignación de porciones del espectro de UHF a los sistemas de radiocomunicaciones móviles, con lo que los radiodifusores estadounidenses estimaron que la pérdida de esas porciones del espectro, originalmente destinadas a los servicios de radiodifusión de televisión, impediría la posibilidad de que pudieran disponer del exceso de banda que requerirían las transmisiones de HDTV, lo que los colocaría en desventaja respecto a las transmisiones por cable o satélite en que el ancho de banda no

[18] Hopkins, R. "Choosing an American Digital HDTV Terrestrial Broadcasting System. Proc. IEEE, Vol. 82, Nº 4, pp. 554-563. April 1994.

constituye una limitación tan importante para las señales de alta definición. En esa época, el único sistema de HDTV en funcionamiento en el mundo era el MUSE (*Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding*), designado también como HiVision, en Japón, y diseñado por la NHK para radiodifusión por satélite. Como consecuencia de esto, se llevó a cabo una demostración de la posibilidad de transmitir HDTV analógica por medios terrestres, utilizando dos canales adyacentes (58 y 59) y poco después los radiodifusores solicitaron a la FCC que iniciara el estudio del impacto que tendría la introducción de las tecnologías de televisión avanzada, entre las que se incluye la HDTV, sobre la radiodifusión terrestre. La FCC inició los procedimientos correspondientes en julio de 1987 y, a finales de ese año, se constituyó el Comité Asesor para el Servicio de Televisión Avanzada[19] (ACATS), con el mandato de asesorar a la FCC sobre los hechos y circunstancias relativas a los sistemas de televisión avanzada a fin de considerar los aspectos de política e interés público, así como de recomendar las políticas, estándares y reglamentos adecuados para facilitar la introducción ordenada y planificada en el tiempo, de estos servicios en los Estados Unidos.

Las tendencias en Europa y Japón, de emplear transmisiones por satélite para la HDTV no resultaba satisfactoria para los radiodifusores estadounidenses agrupados en la Asociación Nacional de Radiodifusores (NAB[20]), con alrededor de 1400 miembros y que constituye un importante sector económico cuyos intereses se verían afectados si no era posible disponer del canal adicional que requiere la señal de alta definición y asumiendo, además, la compatibilidad con los receptores estándard. El número de propuestas para sistemas tanto de satélite como terrestre llegó en 1989 a 21, de los cuales tres eran analógicos de transmisión simultánea (simulcast) en anchos de banda de 6 MHz, cinco requerían ancho de banda adicional y diez más eran sistemas de recepción compatible. De esta cifra de 21 quedaron eliminados 15 y, para 1990, sólo seis sistemas continuaron bajo consideración. Para ese año había ya cierto acuerdo en no considerar, ni los sistemas de satélite ni los que requerían un canal adicional. En junio de 1990 se puso sobre el tapete la posibilidad de transmisión digital y se iniciaron pruebas en 1991. En ese entonces, cuatro de los sistemas sobrevivientes eran digitales, otro era analógico, de transmisión simultánea y uno más de recepción compatible con el sistema NTSC. Este último fue eliminado, de modo que ya en 1991, antes de haber decidido un sistema específico, se aceptó que los receptores del nuevo sistema de televisión avanzada, no tendrían que ser compatibles con los actuales. Las pruebas iniciales concluyeron en 1992 y, a principios de 1993, el sistema analógico fue desechado y se llevó a cabo la comparación de los cuatro sistemas digitales. La decisión que se tomó entonces, fue la de no adoptar ninguno de los cuatro sistemas digitales sobrevivientes y recomendar a las empresas proponentes la realización de pruebas adicionales de sus sistemas.

En mayo de 1993, estas empresas acordaron formar una "Gran Alianza" y combinar todos sus sistemas en uno solo, incorporando lo mejor de cada uno. Tal es el sistema que surgió en 1993 y que, después de numerosas mejoras posteriores fue, finalmente, adoptado por la FCC con el nombre de Sistema Avanzado de Televisión[21] tras el cual están algunas de las empresas e instituciones más importantes en el terreno de la investigación y desarrollo en los Estados Unidos, como el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), General Instruments, Zenith y otras.

[19] Advisory Commitee on Advanced Television Service.
[20] National Association of Broadcasters.
[21] ATSC Digital Television Standard. Advanced Television Systems Committee. Doc. A/54. Oct. 1995.

El 24 de diciembre de 1996, la FCC adoptó finalmente un estándard de televisión digital (DTV)[22] que refleja un acuerdo de consenso entre los radiodifusores, fabricantes de equipos y la industria de computadoras. El estándard permite la transmisión, en un canal de 6 MHz, de uno o dos programas de alta definición, o bien cuatro, cinco o más programas de definición estándard con una calidad visual igual o mejor que la de la televisión analógica, diversas señales de audio con calidad de disco compacto (CD) y considerables cantidades de datos adicionales. El estándard no incluye los requisitos relativos a los formatos de barrido, relación de aspecto o líneas de resolución de la imagen. Esta acción de la FCC es la primera de una serie con la que se pretende abrir la puerta de la nueva era de servicios de radiodifusión, haciéndolos compatibles con aquellos designados como multimedia.

En 1993 se inició en Europa el Proyecto DVB (Digital Video Broadcasting), consorcio en el que participan más de 200 radiodifusores, fabricantes, operadores de redes y organismos reguladores de más de treinta países, no sólo europeos, sino americanos y japoneses entre otros, con el objetivo de armonizar los estándares europeos de radiodifusión digital, que dieran satisfacción a las demandas de los radiodifusores y fabricantes de equipos en todo el mundo. Se han producido ya estándares para todos los tipos de transmisión[23] y hay servicios en funcionamiento con los estándares DVB en todos los continentes.

El 1 de julio de 1997 se hizo público el "libro azul" de DVB que contiene las guías de implementación para el uso de sistemas MPEG-2[24] en aplicaciones de transmisión de vídeo y audio por satélite, cable y sistemas de radiodifusión terrestre, que comprende tanto la televisión de definición estándard (SDTV[25]) como la de alta definición (HDTV), detallando los requisitos de implementación para los receptores-decodificadores integrados (IRD[26]) a utilizar en países que, por razones históricas, tienen frecuencias de campo bien sea de 50 Hz o de 60 Hz.

En la actualidad se han adoptado dos estándares de transmisión para televisión digital: el estadounidense (ATSC[27]) y el europeo (DVB), diferentes e incompatibles. El estándard ATSC está enfocado principalmente a la transmisión terrestre, en tanto que DVB comprende varios estándares para los diferentes medios de transmisión: terrestre, satélite, cable y distribución por microondas.

1.10. Características básicas de los sistemas digitales de TV

Una señal analógica de televisión "estándard", de 525 o 625 líneas produce, al convertirse en digital, un caudal binario de algo más de 200 Mbit/s que, para poder transmitirse por cable de banda ancha o radioenlaces digitales, debe reducirse a velocidades prácticas mediante algún tipo de codificación adecuado o de modulación digital que aumente la eficiencia espectral. Aún así, suponiendo una modulación de tipo 64 QAM, cuya eficiencia teórica máxima es de 6 bit/Hz, el ancho de banda requerido sería superior a 30 MHz que, si bien

---

[22] Martin, H.C. and Estevez, R. "FCC adopts DTV standard". Broadcast Engineering, Vol. 39, Nº 1. p. 12. Jan. 1997.
[23] DVB Press Release, 1 July 1997.
[24] MPEG: Motion Picture Experts Group. MPEG-2 es el estándard de compresión adoptado para la televisión digital.
[25] SDTV: Standard Definition Television
[26] IRD: Integrated Receiver-Decoder
[27] ATSC: Adavanced Television Systems Committee.

puede ser aceptable para transmisión por cable o satélite, es todavía cinco veces superior al ancho de banda disponible en un canal de radiodifusión terrestre, de modo que las técnicas de modulación digital por sí solas no son suficientes para reducir el ancho de banda de la señal digital. Por consecuencia, es necesario comprimir la señal de alguna otra forma para "empaquetarla" en los 6 MHz del canal terrestre. Las técnicas empleadas reciben precisamente el nombre de *compresión* y consisten en eliminar la información redundante de la imagen, es decir aquellas porciones que se repiten en cuadros sucesivos, transmitiendo únicamente la información variable de un cuadro a otro. En realidad el proceso es algo más complejo y se emplean técnicas de codificación tanto predictiva como estadística, pero la idea básica es la expuesta anteriormente. En esas condiciones es posible reducir el caudal binario original a menos de 10 MHz y, ahora sí, con esquemas adecuados de modulación digital, reducir el ancho de banda requerido a valores tan bajos como 1.5 MHz de manera que es posible empaquetar cuatro canales de televisión digital, en el ancho de banda de un canal analógico de 6 MHz. El estándard de compresión adoptado en el mundo es el MPEG[28]-2 que, junto con otros estándares, se trata en el capítulo 6.

1.11 Transmisión

En la transmisión analógica las señales de vídeo y audio se mantienen separadas en todo el proceso, lo que en los inicios de la televisión y hasta principios de la década de los años setenta del siglo XX, obligaba a utilizar dos transmisores separados, uno para vídeo y otro para audio, combinando o multiplexando en frecuencia las dos señales para alimentarlas a la antena. En esa época se desarrolló una técnica designada como de *amplificación común* que permitió realizar el multiplexado a bajo nivel de potencia y tener sólo una cadena de amplificadores pero que, en cualquier caso, obligaba a mantener bien separadas las dos señales para evitar la intermodulación.

En la transmisión digital, la señal de televisión es única y está constituida por un flujo de datos en que el audio, vídeo y otras informaciones en forma digital van multiplexadas en tiempo de acuerdo a una codificación precisa, constituyendo así un flujo único de datos sin necesidad de mantener separadas las señales individuales para su transmisión. Además, puesto que la compresión aplicada a las señales permite "empaquetar" hasta cuatro señales o programas en el ancho de banda de un canal analógico, esas cuatro señales se multiplexan antes de aplicarlas al transmisor. Este proceso, que se trata en el capítulo 7, permite multiplicar por cuatro la oferta de canales analógicos.

1.11. Criterios de calidad

Puede decirse que, en términos ideales, una señal de máxima calidad es aquella que, habiendo sido generada de acuerdo a los parámetros definidos en los estándares correspondientes, es procesada y transmitida sin distorsión hasta el observador final. Sin embargo, el concepto de calidad de una señal de televisión es difícil de definir en la práctica y, con frecuencia, se aplican criterios subjetivos, tanto en el estudio como en el proceso de transmisión. Es claro que una señal de televisión debe cumplir con estándares precisos, definidos por organismos internacionales. Cuando una señal cumple con dichos estándares

[28] Motion Picture Experts Group.

se dice que está *dentro de normas* o que es una señal de *calidad profesional*[29]. En tales condiciones dicha señal se ajusta a los parámetros definidos en las diversas recomendaciones del CCIR, organismos internacionales de radiodifusión como la Unión Europea de Radiodifusión (UER o EBU), organismos nacionales como la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos y organizaciones profesionales como la Sociedad de Ingenieros de Cine y Televisión (SMPTE[30]). Dichos parámetros pueden medirse y controlarse en los centros de producción y transmisión y es una tarea del personal técnico de dichos centros mantener la señal dentro de dichos parámetros. Quizá es conveniente enfatizar que al hablar de *señal* se hace referencia a la señal total de televisión: vídeo cromático, sincronismo y audio, ya sea monoaural o estereofónico. En el ajuste de los diversos equipos, tanto en el centro de producción como de transmisión, se emplean *señales de prueba*, mediante las cuales es posible cuantificar la calidad de la señal.

El ajuste de la señal a estos parámetros determina, por consecuencia, su calidad *objetiva*. Sin embargo, y según se mencionó antes, en la práctica es más frecuente aplicar criterios *subjetivos*; es decir, si la imagen "se ve bien" o no, basándose únicamente en la apreciación de un observador que, si tiene la experiencia técnica suficiente, puede apreciar deficiencias en la imagen que pasan desapercibidas a un observador común. Este tipo de criterio se ha extendido ampliamente desde la aparición en el mercado de cámaras y magnetoscopios de relativamente bajo costo, fáciles de manejar y con los que se han equipado numerosos centros de producción y pequeñas emisoras de televisión en todo el mundo en que con frecuencia, no se cuenta con equipo de medición para visualizar ni controlar los parámetros mínimos de la señal. El único criterio que prevalece en tales casos es si la imagen está "limpia", los colores y el sonido resultan aceptables, etc.

Independientemente de lo anterior, y de manera muy resumida, dos de los criterios importantes para establecer la calidad de una señal son la resolución horizontal, determinada por el ancho de banda del equipo o sistema y la relación señal a ruido en el caso de instalaciones receptoras.

El tema de resolución horizontal se trata con más amplitud en el Capítulo 4 y basándose en ella, es frecuente definir la calidad de un equipo en estos términos. Así, se habla de un equipo de *calidad VHS* como el que es capaz de producir una señal con una resolución horizontal equivalente a unas 250 líneas que corresponde a un ancho de banda del orden de 3 MHz, en lugar de los 5 MHz de una señal PAL/625. Una señal de estas características es la que reproduciría un magnetoscopio doméstico del tipo VHS que, en general, resulta aceptable a un observador normal.

El aspecto de la relación señal a ruido resulta más difícil de cuantificar. El ruido se manifiesta en la imagen en forma de "nieve", más intensa cuanto menor sea la relación señal a ruido. Para un valor de ésta de alrededor de 45 dB, el ruido comienza a ser perceptible, de modo que este valor suele considerarse como el límite aceptable. En cualquier caso, los términos "imperceptible" o "aceptable" son ambiguos, ya que dependen de la persona que juzga la calidad de la señal.

---

[29] En España suele emplearse el término "calidad broadcast".
[30] SMPTE: Society of Motion Picture and Television Engineers, que agrupa ingenieros de estas especialidades en todo el mundo.

1.12. Sistemas de contribución y distribución

Se designan como *sistemas de contribución* aquellos sistemas de transmisión cuya finalidad es suministrar señales de televisión a centros de producción o cabeceras de cable para su posterior procesado, grabación o transmisión al público. En los sistemas de contribución las señales deben transmitirse con la máxima calidad posible para reducir, por una parte, la degradación que sufrirán durante los diversos procesos de producción y, por otra, garantizar la homogeneidad de las señales procedentes de diversas fuentes que son mezcladas para producir un programa determinado. Un ejemplo de esto es un programa de noticias, para cuya confección se emplean señales externas procedentes de lugares geográficos variados, así como señales internas generadas en el propio centro de producción. Todas ellas deben tener calidad uniforme y, sólo en casos excepcionales en que el tipo de noticia lo amerite, se admiten señales de calidad inferior.

Los *sistemas de distribución* tienen como finalidad transportar las señales al público en general y se admite que dichas señales no serán objeto de procesado subsecuente, excepto quizá, para ser grabadas por equipos domésticos y para uso exclusivamente privado. Así, aún cuando la señal de entrada a un sistema de distribución debe ser de calidad profesional, ésta puede sufrir degradaciones en el medio de transmisión y en los circuitos del receptor que, si bien pueden pasar desapercibidas para un observador normal, la hacen inadecuada para otros fines que no sean su visualización en un receptor. La calidad de la señal que recibe el observador final se mide, como ya se mencionó, en términos subjetivos.

1.13 Transmisión terrestre.

Con este término se designa a los sistemas de radiodifusión que operan en las bandas de VHF (Canales 2 a 12)[31] y UHF (Canales 21 a 69) cuyas emisiones están destinadas al público en general, con la posible excepción de algunos países, en que se permite la codificación de la señal de algunos canales, para hacerla accesible solamente a aquellos usuarios que paguen una cuota por el decodificador necesario para acceder a esas señales. Esta modalidad se conoce como *televisión de pago (pay-tv).*

Actualmente (2006) en la mayor parte del mundo se mantienen los sistemas analógicos de transmisión, sin embargo, buena parte de los países europeos, América del Norte, algunos países de América del Sur, Asia, Australia y algunos otros, mantienen ya transmisiones regulares de televisión digital desde hace algunos años y se han fijado fechas para la suspensión de los servicios analógicos que varían en los diferentes países y que se sitúan entre los años 2008 y 2012. Los sistemas de transmisión terrestre, tanto analógicos como digitales, pueden clasificarse en sistemas *locales, regionales o nacionales.*

1.14. Bandas de frecuencias.

Las bandas de frecuencias asignadas a los servicios de radiodifusión terrestre de televisión difieren ligeramente según la región, referida a la designación de la UIT[32], así como las

[31] En los países con sistema de barrido de 525 líneas y 30 cuadros, los canales de VHF comprenden del 2 al 13.
[32] La Unión Internacional de Telecomunicaciones define tres regiones: I para Europa, Africa y la porción Asiática de Rusia. II el Continente Americano y III, el resto de Asia y Oceanía.

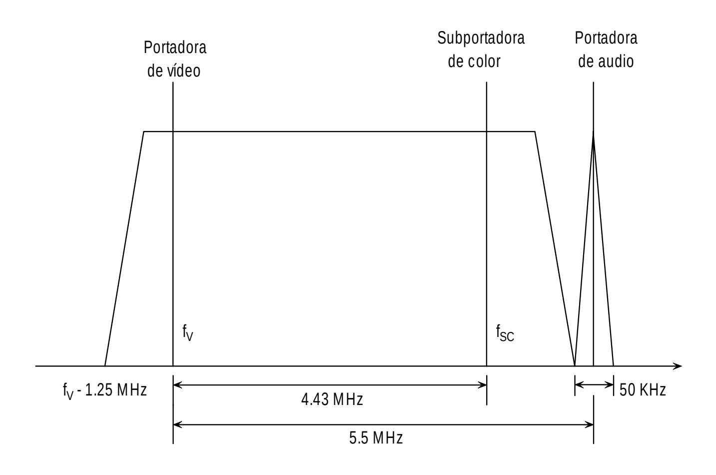
frecuencias correspondientes a cada canal. En Europa, las bandas asignadas a estos servicios son las mostradas en la Tabla 1.1:

Banda	Canales	Rango de frecuencias
I (VHF)	2 - 4	47 - 68 MHz
III (VHF)	5 - 12	175 - 230 MHz
IV (UHF)	21 - 37	478 - 606 MHz
V (UHF)	38 - 69	606 - 862 MHz

Tabla 1.1

La distribución anterior de frecuencias y el número de los canales es diferente en los países que utilizan 525 líneas. Así en la banda I los canales 2 a 4 ocupan de 54 a 72 MHz, los canales 5 y 6, de 76 a 88 MHz. En la banda III los canales 7 al 13 ocupan de 174 a 216 MHz. y en las bandas IV y V, los canales 21 a 69 ocupan de 470 a 806 MHz. Estas bandas siguen manteniéndose, si bien la tendencia en el caso de la televisión digital es a utilizar, preferentemente, las bandas IV y V de UHF.

En el caso de transmisión analógica, el marco de referencia es el Informe 624 del CCIR. En España se emplea el sistema de transmisión "B" en las bandas I y III (VHF) y el "G" en las bandas IV y V (UHF). En el sistema "B", el ancho de banda del canal de transmisión es de 7 MHz y de 8 MHz para el "G". La separación entre portadoras de vídeo y audio es de 5.5 MHz y, el tipo de modulación es, para vídeo, AM negativa, con vestigio de banda lateral. El audio se modula en frecuencia (FM), con un ancho de banda de 50 KHz y, 4.43 MHz por encima de la portadora de vídeo, se transmite una subportadora sobre la que se modula la información de color de la imagen. La configuración espectral del canal de transmisión analógica se muestra en la figura 1.22.



Notas: La configuración de la figura corresponde a sistemas de 625 líneas. En los sistemas de 525 líneas la separación entre la portadora de vídeo y la subportadora de color es de 3.58 MHz y entre las portadoras de vídeo y audio de 4.5 MHz.

El ancho de banda del canal es de 6 MHz para los sistemas de 525 líneas y de 7 u 8 MHz (según el estándard) para los sistemas de 625 líneas.

Fig. 1.22. Configuración espectral del canal analógico de transmisión de TV.

En televisión digital, la distribución de canales y el ancho de banda del canal son iguales que en el caso analógico, sin embargo las señales de audio, vídeo y datos adicionales van multiplexadas en tiempo, con un esquema relativamente complejo que será tratado en el capítulo correspondiente al sistema de transporte en televisión digital. La configuración espectral es, por consecuencia diferente al no tener subportadora de color ni portadora de audio.

1.15 Sistemas locales.

Estos sistemas tienen como finalidad proporcionar servicio a una sola población y su entorno próximo. En estos sistemas, la señal de TV (vídeo + audio asociado) generada en el Centro de Producción es enviada al transmisor que, con frecuencia, suele estar ubicado en el mismo lugar que aquél. Si el transmisor y el Centro de Producción no están en el mismo lugar, la señal es enviada al transmisor mediante cable coaxial, fibra óptica o un enlace radioeléctrico en las bandas de microondas asignadas para este tipo de servicio[33]. Esta situación se ilustra en la figura 1.23.

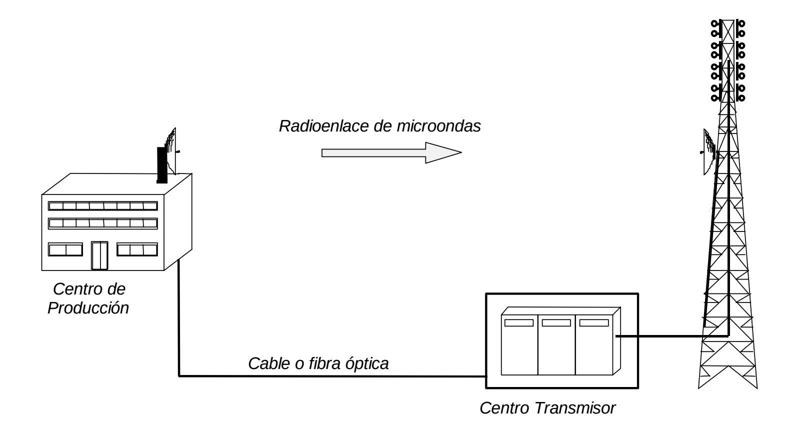


Fig. 1.23. Sistema de TV local.

Muchos de estos sistemas dan servicio a poblaciones relativamente pequeñas y la mayoría son analógicos, de modo que un programa ocupa todo el ancho de banda de un canal. En unos años los sistemas analógicos actuales tendrán que ser reemplazados por sistemas digitales en los que, para la transmisión deberán multiplexarse cuatro programas en el ancho de banda actual de un canal, por lo que los transmisores tendrán que compartirse por varios centros de producción.

1.16 Sistemas regionales y nacionales.

La cobertura de estos sistemas se extiende, por lo general a una región más o menos extensa en el primer caso y a una nación entera en el segundo, abarcando tanto zonas urbanas como comunidades rurales.

La red de transmisión suele estar conformada por uno o más transmisores primarios y un cierto número de reemisores destinados a la cobertura de las “zonas de sombra” no

[33] La designación en inglés para este tipo de servicio es *studio-transmitter link (STL).*

alcanzadas por los transmisores primarios o bien, a la ampliación de la zona de cobertura de éstos, particularmente a poblaciones pequeñas. La señal generada en el Centro de Producción es transportada a los transmisores primarios a través de redes terrestres de microondas o radioenlaces vía satélite. Los reemisores reciben la señal de los transmisores primarios en las bandas de VHF o UHF y la retransmiten, convenientemente amplificada, en otro canal de esas bandas. La estructura general de este tipo de sistemas se muestra en la figura 1.24

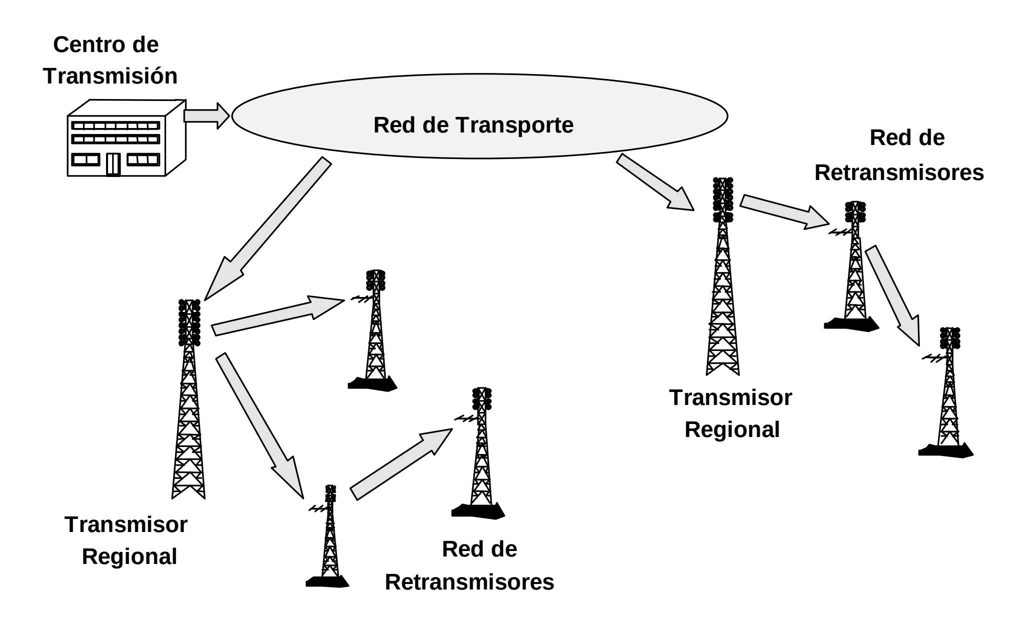


Fig. 1.24. Sistema de TV regional o nacional.

En la figura anterior se ilustra el sistema en forma tradicional, exclusivamente terrestre, cuya estructura sigue siendo utilizada. Dicha estructura se aplica desde los años cincuenta del siglo XX y con ella, la cobertura a lugares de orografía complicada es difícil y costosa, de modo que una red nacional difícilmente alcanza al 100% de la población, particularmente en zonas rurales de difícil acceso. Actualmente la tendencia es a alimentar por satélite a las pequeñas estaciones retransmisoras y la señal puede llegar prácticamente a la totalidad de la población.

1.17. Transmisión por cable (CATV).

Los sistemas de cable pueden ser de contribución o de distribución. En los primeros, las señales se conducen por cable coaxial o fibra óptica hacia un centro de producción o una *cabecera* de cable desde diversos puntos, como una estación terrestre distante de recepción via satélite, cable submarino, otro centro de producción, etc., y pueden considerarse como sistemas de comunicación punto a punto. Sin embargo, en el sentido habitual que se da al concepto de sistema de cable, se refiere a sistemas de distribución, destinados a conducir señales por ese medio a numerosos usuarios o abonados en una zona determinada. Las señales de televisión, procedentes de fuentes variadas, se alimentan a una cabecera de cable con el fin de multiplexarlas adecuadamente para su transporte a los abonados.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones

El primer sistema de cable se instaló en Estados Unidos en 1948, con la finalidad de dar servicio a una zona rural en Astoria, Oregon[34], en que la recepción de las señales transmitidas por aire era difícil. Este sistema estaba basado en líneas abiertas. El primer sistema con cable coaxial se instaló en Lansford, Pennsilvania, en 1950. De hecho, los primeros operadores de estos sistemas, fueron vendedores de receptores de televisión que buscaban aumentar la venta de sus productos, proporcionando además las señales que tales productos requerían. La designación original de CATV, en la que se engloban los sistemas de televisión por cable, significa "Common Antenna Television", es decir, antena comunitaria.

Estos sistemas, en su concepción original, consistían de una cabecera instalada en un punto en que la recepción de las señales de las transmisiones terrestres fuera buena. En dicha cabecera las señales recibidas se amplificaban y se multiplexaban para introducirlas al sistema de cable, que las transportaba hasta los hogares en que la recepción por aire no era posible y los cuales tenían que pagar una cantidad mensual por el servicio. Así, la concepción original de estos sistemas, fue únicamente la de transportar señales hasta los abonados de forma unidireccional. En la década de los setenta fue posible la recepción de señales de satélite, inicialmente mediante estaciones terrestres de costo relativamente elevado que no estaban al alcance del público en general, pero cuyo costo podía distribuirse entre los usuarios de los sistemas de cable en forma rentable, de modo que los sistemas de cable, además de las señales terrestres de recepción difícil directamente por los abonados, pudieron ofrecer programación abundante y variada procedente de satélites. Algunos sistemas incluían además programas generados localmente y de interés para las comunidades específicas, de modo que la programación accesible al abonado de cable resultó mayor que la de los que solamente tenían acceso a las señales procedentes de los servicios de radiodifusión terrestre.

En la década de los setenta y posteriores, se contempló la posibilidad de ofrecer a los abonados programas específicos como películas o deportes, en canales especiales mediante una tarifa adicional y un terminal adecuado para sintonizar los canales en que se transmitía dicha programación especial. Esto fue el inicio del servicio designado como *televisión de pago*. Con la evolución de los sistemas de codificación, a finales de los años ochenta y principios de la década de los noventa, fue posible disponer de terminales de abonado capaces de decodificar canales con programación específica, por ejemplo eventos deportivos, conciertos, etc., de modo que los abonados podían acceder a estos programas solicitándolos previamente por teléfono. En el momento de transmitir el programa solicitado, un código específico transportado en la propia señal de televisión "abría la llave" de los decodificadores de aquellos abonados que los hubieran solicitado. Esta modalidad se designó como *pago por visión* o *pago por evento*. Tal sistema continúa en uso y se ha extendido a los sistemas de radiodifusión de televisión por satélite.

Los sistemas iniciales de cable pueden considerarse como de banda estrecha, ya que las características de los cables disponibles en la época no permitían la transmisión más que de unos diez canales por sistema. Sin embargo, a finales de la década de los cincuenta, el ancho de banda de los sistemas de cable alcanzaba casi hasta los 800 MHz, con lo que la capacidad de transporte aumentó enormemente. Esto hizo que los operadores de cable asignaran una

[34] Ciciora, Walter, S. "Cable Television in the United States - An Overview". Cable Television Laboratories Inc. Louisville, Colorado. 1995.

banda, entre 50 y 800 MHz para el transporte de señales hacia el abonado, que se designa como *enlace descendente*, igual que en el caso de comunicaciones por satélite y otra banda, hasta 35 MHz, destinada a comunicaciones entre el abonado y la cabecera de cable. A esta banda se le designó como *enlace ascendente*. La idea de disponer de esta banda fue, inicialmente, permitir la comunicación del abonado por la misma vía, para solicitar los servicios sometidos a tarifas especiales mencionados antes. En realidad la porción de la banda ascendente no se ha utilizado casi en ningún sistema de televisión, ya que implica la instalación de numerosos equipos que hagan posible la comunicación en dirección inversa a la de las señales de televisión transportadas. Hasta principios de la década de los noventa los sistemas de cable sólo estaban concebidos para el transporte de señales de televisión, ya que el transporte de otro tipo de señales, principalmente telefonía y datos se realizaba a través de las redes telefónicas tradicionales que, en la mayor parte de los países eran operadas en algunos casos por empresas privadas y en otros por empresas estatales[35]. En los Estados Unidos tales empresas eran, por ejemplo Bell y ATT, en España la Compañía Telefónica Nacional de España, en México Teléfonos de México, en Brasil EMBRATEL, etc.

Una red de cable de banda ancha ofrece la posibilidad de transportar no sólo señales de televisión, sino de ofrecer los mismos servicios que las empresas telefónicas y aún más. En los últimos años, con la liberalización del mercado de las telecomunicaciones y la desaparición de los monopolios telefónicos, esta posibilidad se ha convertido en una realidad y, actualmente, son numerosas las empresas de cable que, además de ofrecer los servicios tradicionales de televisión, ofrecen también servicios de telefonía y transmisión de datos.

Una característica muy importante de los sistemas de cable es el hecho de que son sistemas "blindados", es decir que el uso que hacen del espectro no interfiere con otros servicios, situación que no se da con los sistemas radioeléctricos en que la disponibilidad del espectro es limitada y la posibilidad de interferencia elevada.

1.18. Estructura general de los sistemas de cable.

Un sistema tradicional de cable, como se ilustra en la figura 1.25, incluye cinco partes fundamentales, a las que se agrega un decodificador para el caso de programas de acceso condicionado (televisión de pago o pago por evento):

Cabecera
Red troncal
Red de distribución (alimentador) al vecindario.
Red de abonado.
Terminal de abonado
Decodificador

[35] Esta situación está cambiando rápidamente y en los últimos años un número considerable de empresas estatales de comunicaciones está siendo privatizado en Europa y América.

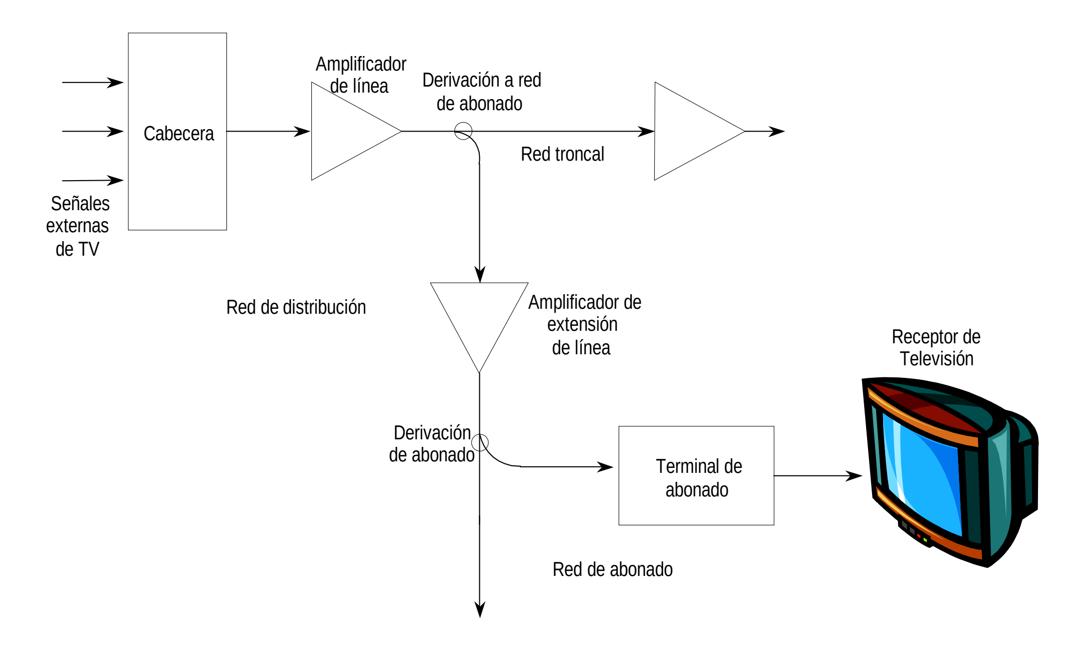


Fig. 1.25. Estructura general de un sistema de cable.

Los sistemas que emplean cable coaxial requieren de amplificadores de línea y ecualizadores para compensar la característica de atenuación del cable. Dependiendo de la atenuación y el ancho de banda del sistema, tales amplificadores deben intercalarse a intervalos entre unos 600 y 1000 metros. En la actualidad, las redes troncales se implementan con fibra óptica, lo que reduce la necesidad de amplificadores y ecualizadores. Sin embargo, debido al elevado costo de la tecnología actual con fibra óptica exclusivamente, la porción de distribución hasta el abonado se implementa con tecnología tradicional de cable coaxial y los sistemas suelen designarse como HFC o híbridos de fibra y coaxial. Este es un aspecto importante, ya que la longitud de la red troncal representa, típicamente, sólo del orden del 15% de la longitud total de cable de la red.

La función de la cabecera es la de concentrar, procesar en caso necesario y modular las señales de televisión procedentes de diferentes fuentes, para alimentarlas al cable troncal. En los sistemas analógicos, la modulación que se emplea es la misma que para radiodifusión terrestre, es decir, AM con vestigio de banda lateral para el vídeo y FM para el audio. Para televisión digital se han desarrollado estándares diferentes en Europa (DVB-C) y en los Estados Unidos.

En una cabecera típica se alimentan señales procedentes de transmisores terrestres, satélite y señales de centros de producción locales destinadas a los abonados de cable. En estas condiciones el abonado no requiere de una antena externa para recibir las señales terrestres, ya que están incluidas en el paquete de canales del cable y cuenta, además, con un variado abanico de programas adicionales. En la figura 1.26 se muestra esquemáticamente una cabecera de cable.

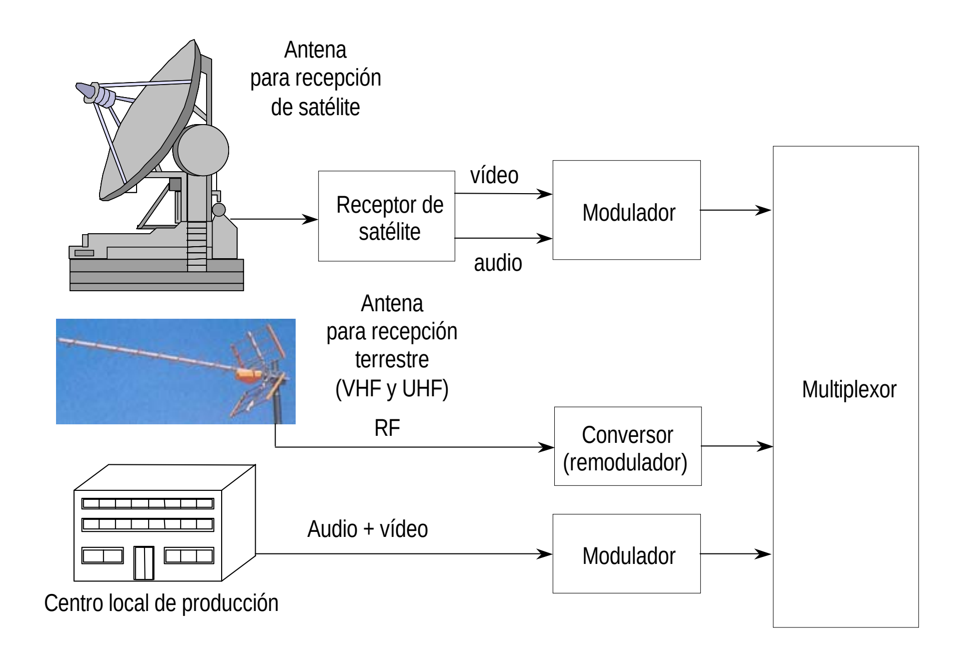


Fig. 1.26 Estructura general de una cabecera de cable.

La distribución espectral de canales en los sistemas de cable puede, en principio ser arbitraria, ya que no hay estándares en este campo semejantes a los adoptados para la radiodifusión terrestre. Los estándares principales obedecen a acuerdos de las asociaciones de operadores de cable y, la configuración típica de canalización es semejante, por lo general, a la adoptada en los Estados Unidos, que se detalla en la tabla 1.2

Banda de frecuencias	Canales	Designación
10 a 35 MHz		Canal ascendente
54 a 72 MHz y 76 a 88 MHz	2 a 6	Banda baja
88 a 108 MHz	Radio - FM	Banda de FM
108 a 174 MHz	98, 99 y 14 a 22	Banda media
174 a 300 MHz	7 a 13 y 23 a 36	Superbanda
300 a > 402 MHz	37 a >53	Hiperbanda

Tabla 1.2

En el caso anterior, el ancho de banda de cada canal es de 6 MHz. En Europa las asignaciones pueden variar, por lo que los valores anteriores deben tomarse únicamente como indicativos. La banda de 35 a 54 MHz no tiene una asignación específica y la de 72 a 76 MHz no se utiliza, a fin de evitar posibles interferencias con sistemas de ayudas a la navegación aérea.

Actualmente, la mayoría de los sistemas de cable son digitales, en el sentido de que transportan señales digitales de televisión. En sí, el cable es un medio "transparente", que puede transportar igualmente señales analógicas o digitales. La diferencia es que en el ancho de banda de un canal analógico, caben cuatro o más programas digitales, de manera similar al caso de la radiodifusión terrestre de televisión.

1.19 Transmisión vía satélite.

Comprende dos aspectos: la transmisión de señal para fines de distribución a redes transmisoras terrestres, sistemas de cable o transmisiones remotas hacia un centro de producción y la radiodifusión directa de TV vía satélite destinada al público en general.

La transmisión de señales de televisión por satélite para fines de contribución se inició a finales de la década de los sesenta, utilizando satélites de servicio fijo de telecomunicaciones (FSS[36]) y la difusión al público en general comenzó a extenderse a mediados de la década de los setenta en banda C, debido principalmente a sus características favorables de propagación, empleando la banda de 5925 a 6425 MHz para el enlace ascendente y la de 3700 a 4200 MHz para el descendente, con modulación en frecuencia y anchos de banda por canal de 36 MHz, lo que permitió la transmisión hasta de 24 canales con un satélite, usando doble polarización. Las antenas receptoras terrestres fueron de reflector parabólico, con diámetros mínimos del orden de 3 m, ya que los receptores de bajo ruido (LNA[37]) disponibles entonces tenían temperaturas de ruido relativamente altas, del orden de 120 K. Los servicios de radiodifusión directa por satélite (DBS[38]) fueron objeto de planificación por la UIT desde mediados de los setenta, a fin de asignar a cada región los segmentos orbitales necesarios y establecer la distribución adecuada del espectro de frecuencias de acuerdo a criterios de compatibilidad e interferencia. La banda de frecuencias asignada a los servicios de radiodifusión directa por satélite fue la K_u (14-14.5 GHz para el enlace ascendente y 11.7-12.2 para el descendente) y a principio de los años ochenta empezaron a funcionar satélites en esta banda.

En la banda K_u las pérdidas de propagación son mayores que en la banda C, por lo que la potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) debe ser mayor para conseguir la misma calidad de señal que en la banda C y es necesario emplear antenas de mayor ganancia a bordo del satélite, lo que se facilita gracias a la mayor frecuencia de la banda K_u. En general, las frecuencias asignadas a los servicios de radiodifusión por satélite en la banda K_u no son compartidas por servicios terrestres, con lo que las limitaciones en la densidad de flujo de potencia son menos exigentes que en la banda C y es posible transmitir con mayor potencia desde el satélite. Esto hace que sea posible la recepción en tierra con antenas de pequeño diámetro, del orden de 40 a 80 cm, dependiendo de la zona de cobertura del satélite y, en la actualidad, un sistema receptor doméstico de satélite que incluye una antena parabólica exterior y un receptor-decodificador interior cuya salida es en alguno de los canales de VHF o UHF de manera similar a la de un reproductor de vídeo VHS o un reproductor de DVD, cuya salida a su vez, se conecta al receptor convencional de televisión, como se ilustra en la figura 1.27. El costo de la antena y el receptor-decodificador interior varia desde unos 150€ hasta más de 600€, según las prestaciones. La antena mostrada en la figura es para banda Ku, con un diámetro típico de 60 cm.

---

[36]FSS: Fixed Satellite Service.
[37] LNA: Low Noise Amplifier
[38] DBS: Direct Broadcast Service.

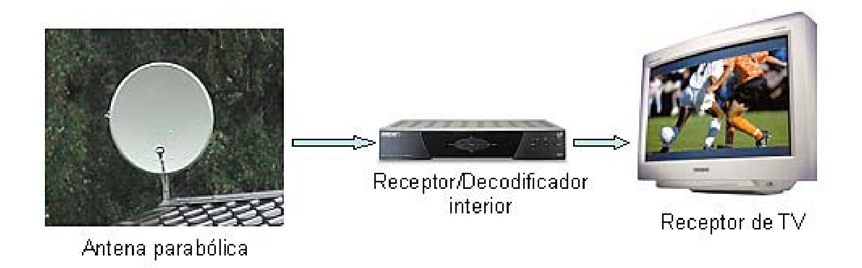


Fig. 1.27. Sistema receptor doméstico de satélite

Hasta 1994 todas las transmisiones de TV vía satélite destinadas al público eran analógicas. Sin embargo, en octubre de ese año entró en servicio el primer sistema de transmisión digital en los Estados Unidos, que se ha designado como DSS (Digital Satellite System), con capacidad para 150 canales. En 1995 y 1996 fueron aumentando las transmisiones digitales con amplias ofertas de programación para el usuario tanto en Europa como en América, incluyendo un número apreciable de canales de pago, modalidad para la que este tipo de transmisión ofrece grandes posibilidades, particularmente en la forma de pago por evento, por ejemplo en el caso de películas de estreno y eventos deportivos.

Hay que notar que en el servicio de radiodifusión por satélite, a diferencia del cable, el usuario no dispone de canal de retorno, ya que para ello sería necesario tener, además del receptor, un transmisor hacia el satélite y cualquier comunicación para solicitar programas u otro tipo de información debe hacerse por vía telefónica lo que, en cierta forma, constituye una desventaja respecto al cable. Como contraparte, el servicio de satélite está al acceso de cualquiera que se encuentre en la zona iluminada por el satélite, en tanto que para acceder al sistema de cable es necesario que éste pase a una distancia relativamente corta del hogar del abonado.

1.20 Sistemas de distribución de televisión por microondas

Son sistemas radioeléctricos de transmisión de televisión en diversas bandas del espectro de microondas, que operan todos bajo el mismo principio: la transmisión de un número apreciable de programas de televisión (de 10 a 50 o más), directamente al público, en entornos urbanos o suburbanos de tipo celular, utilizando bandas de frecuencias distintas a las tradicionalmente asignadas a los servicios de radiodifusión de televisión. Conviene enfatizar que una característica muy importante de estos sistemas es que necesitan visión directa entre la antena de la estación transmisora y la del receptor del usuario debido a la gran atenuación en la trayectoria de propagación a las frecuencias utilizadas. En la figura 1.28 se muestra esquemáticamente un sistema de este tipo. Como puede apreciarse, el sistema es muy similar, por una parte, al de recepción por satélite ya que requiere de una antena externa altamente direccional y de un receptor-decodificador interno y, por otra al de cable en el sentido de que en el centro transmisor se tiene una cabecera similar a la de un sistema de cable.

Los primeros sistemas de distribución por microondas de TV se designaron con las siglas MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) y utilizaron diversas bandas entre 2.7 y 3.2 GHz, así como a 5,8 GHz, a frecuencias algo diferentes en cada país,. En los Estados Unidos hay alrededor de 700.000 subscriptores y este tipo de servicio se ha extendido por

unos 40 países de todo el mundo. La capacidad de estos sistemas es diferente en cada país así, mientras en los Estados Unidos es de 33 canales, en Irlanda es de sólo 11, debido tanto a la menor anchura de banda necesaria en el sistema NTSC como a la mayor anchura de espectro asignada en los Estados Unidos a estos servicios. Las señales de televisión se transmiten en forma analógica, con un esquema de modulación similar al empleado en radiodifusión terrestre, sin embargo, a partir de 1996, la tendencia es a emplear técnicas digitales, con lo que el número de canales que es posible transportar prácticamente se cuadruplica.

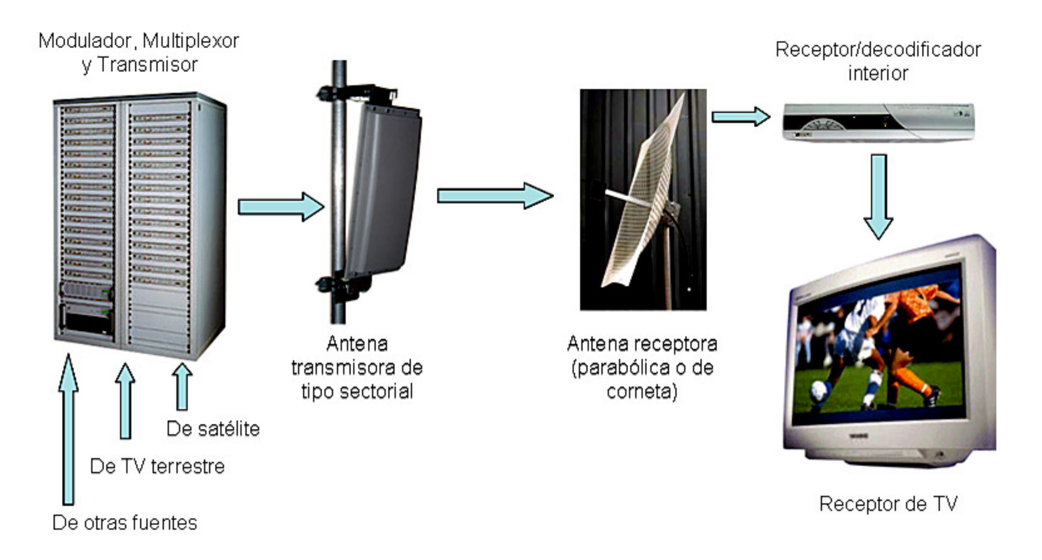


Fig. 1.28. Sistema de distribución de televisión por microondas

La concepción y propósito de los sistemas de distribución de televisión por microondas es semejante a los de cable. Las diversas señales que se transportan a los abonados, se alimentan en una cabecera principal, cuya estructura es similar a la de la figura 1.14. La salida del multiplexor se alimenta, en este caso, a la entrada del modulador del transmisor de radio. Debido a la considerable atenuación que se tiene a las frecuencias en que operan estos sistemas, el receptor debe localizarse de modo que su antena tenga visión directa con la del transmisor. En las zonas en que no se da esta condición, puede esperarse en algunos casos, que el nivel de señal que llega a los receptores como consecuencia de reflexiones en edificios cercanos sea suficiente para tener buena recepción y, de no ser así, es necesario instalar retransmisores para cubrir las zonas de sombra. Esto obliga a una planificación cuidadosa de las bandas de frecuencias utilizadas para evitar interferencias. Un recurso que se emplea, principalmente en zonas urbanas en que los edificios constituyen blindajes "naturales" entre diferentes zonas de servicio, es emplear *desviadores de señal* (signal benders) que son, básicamente, amplificadores de baja potencia cuya salida se conecta a una antena direccional orientada al área de servicio en la zona de sombra.

En este tipo de amplificadores, que de hecho actúan como retransmisores, no se efectúa ninguna conversión de banda; únicamente amplifican la señal en la misma banda en que la reciben, para emitirla hacia la zona de sombra, por lo que el aislamiento entre las antenas receptora y transmisora debe ser muy alto. Para reducir la posibilidad de realimentación en el propio amplificador, así como la posibilidad de interferencia en la zona de sombra cubierta por éste, suele transmitirse con polarización contraria a la de la onda recibida.

La recepción en estos sistemas se realiza en forma semejante a la utilizada para satélite. El receptor, ya sea individual o comunitario, requiere de una antena, en este caso de menores dimensiones que la de satélite y que, dependiendo de las características del edificio, puede instalarse en una pared, ventana o tejado. Las antenas receptoras pueden ser del tipo parabólico o de corneta, con diámetros del orden de 10 a 20 cm, dependiendo de la banda de frecuencias y de la ganancia requerida para recibir una señal de buena calidad.

Probablemente debido a la escasez del espectro en en las bandas de 2.7 y 5.8 GHz así como a los problemas de interferencias y, sobre todo, a que la UIT ha recomendado otras bandas para estos servicios, su uso no se ha generalizado y es posible que tienda a desaparecer para ser substituido por los nuevos LMDS (Local Multipoint Distribution Service) y MVDS (Microwave Video Distribution System) en las bandas de 28 y 40 GHz respectivamente. En varios países europeos se vienen utilizando desde hace algunos años sistemas MMDS en la banda de 2,5 GHz y en el Reino Unido están en funcionamiento sistemas analógicos MVDS en la banda de 40 GHz.

De acuerdo a la recomendación de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicación (WARC[39]), la UIT asignó bandas para radiodifusión de televisión en 12, 29 y 42 GHz. Como consecuencia de esto, tanto en los Estados Unidos como en Europa y otros países, se han autorizado nuevas frecuencias y abierto la posibilidad de ofrecer, no solamente televisión en sus diferentes modalidades, incluida la de pago por evento, sino también telefonía, datos, INTERNET y, en general, servicios interactivos de banda ancha. En los Estados Unidos, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC[40]) autorizó en Marzo de 1997, 850 MHz de ancho de banda para el canal descendente en la banda de 27,5 a 28,35 GHz y 150 MHz para el canal de retorno o ascendente en la de 30 GHz. Estos sistemas, designados también como LMDS han despertado gran interés tanto entre las operadoras de cable y telefonía, como entre los fabricantes de equipos transmisores y receptores. En Canadá las frecuencias asignadas coinciden con las de los Estados Unidos y el servicio ha recibido el nombre LMCS (Local Multipoint Communications Systems).

En Europa, la CEPT en su recomendación T/R 52-01 de Septiembre de 1995, asignó la banda de 42 GHz para la distribución de televisión por microondas, designado como MVDS y la Agencia Británica de Radiocomunicaciones (RA) ha especificado las características de estos sistemas y establecido un plan de frecuencias en sus documentos MPT 1550, para sistemas analógicos y MPT 1560 para sistemas digitales.

Aunque la finalidad de los sistemas de distribución de televisión por microondas y de cable es similar desde el punto de vista de que constituyen servicios de pago, hay una serie de diferencias importantes entre ellos. Los sistemas de cable al ser blindados, prácticamente no producen interferencias sobre sistemas similares que operen en su cercanía y en la misma banda de frecuencias. Es decir, en una misma zona pueden funcionar varios sistemas de cable utilizando el mismo espectro y sin interferirse. Esta situación no ocurre con los sistemas radioeléctricos de microondas y, por tanto requieren de una planificación cuidadosa del

[39] WARC: World Administrative Radio Conference
[40] FCC: Federal Communications Commision.

espectro de frecuencias. El número de sistemas capaces de operar en una misma zona es, por consecuencia, limitado.

Los sistemas de cable requieren de una infraestructura de canalización, ya sea subterránea o aérea, generalmente costosa y cuya instalación requiere de un tiempo apreciable, tanto por la obra en sí, como por la negociación de derechos de paso por calles o fincas. Dicha infraestructura debe existir antes de iniciar el servicio. Los sistemas de distribución por microondas, por otra parte, no requieren de tal infraestructura ni negociación sobre el paso por propiedades y el inicio del servicio es prácticamente inmediato a la instalación del sistema. Finalmente, en los sistemas de microondas es también posible implementar un canal de retorno, para lo cual el abonado debe contar a su vez con un transmisor hacia la cabecera. En la banda de 40 GHz, la capacidad del canal de retorno se espera que alcance unos 500 MHz, ancho de banda muy superior a los 35 MHz destinados actualmente en los sistemas de cable.

1.21 Grabación de televisión

El aspecto de grabación constituye uno de los campos más importantes de la televisión, ya que gracias a las técnicas de grabación y edición, es posible la producción de programas de gran calidad visual y técnica, permitiendo su conservación para usos futuros, ya sea transmisión, archivo, intercambio o venta.

Puede decirse que desde los inicios de las transmisiones regulares de televisión se hicieron intentos de grabar la señal eléctrica, basándose al principio en la tecnología de grabación de audio que produjo resultados aceptables aunque muy limitados, porque la grabación de señales de vídeo presenta problemas técnicos considerables como consecuencia del ancho de banda de la señal, mucho mayor que el de audio, ya que hay una relación directa entre el ancho de banda de la señal grabada y la velocidad relativa entre la cinta magnética y la cabeza de grabación, por lo que la aplicación de técnicas similares a las empleadas en audio requerían carretes de cinta muy grandes y velocidades de transporte de ésta muy elevadas. Para el registro permanente de los materiales producidos en televisión se recurrió, hasta 1956, a técnicas cinematográficas mediante un sistema relativamente complejo y costoso denominado *kinescopio* o "cine caliente". Aún así la mayor parte de la programación debía realizarse "en vivo", es decir en tiempo real.

Las primeras grabadoras de vídeo[41], desarrolladas por la empresa "Ampex" de Estados Unidos, salieron al mercado en 1956 y cambiaron de forma muy importante la metodología de producción de programas de televisión. Estas máquinas estaban basadas en una técnica de grabación designada como *cuádruplex* y se utilizaban cintas de carrete abierto y 2 pulgadas (5 cm) de ancho. Dichas máquinas ni eran portátiles ni podían soportar ambientes adversos, por lo que su empleo se limitaba únicamente al centro de producción o a unidades móviles especialmente acondicionadas. En la fig 1.29 se muestra una de las primeras grabadoras en uso a finales de la década de los años cincuenta del siglo XX así como el

[41] La terminología usual es *máquina de video tape*, *VTR (Video Tape Recorder)*, VCR (*Video Cassette Recorder*), *magnetoscopio*, etc. Aquí se emplean, indistintamente los términos grabadora y magnetoscopio para indicar la máquina que es capaz de grabar, reproducir y editar señales de televisión.

procedimiento de grabación cuádreplex en pistas transversales sobre una cinta magnética de 2 pulgadas de ancho y la estructura del tambor de grabación.

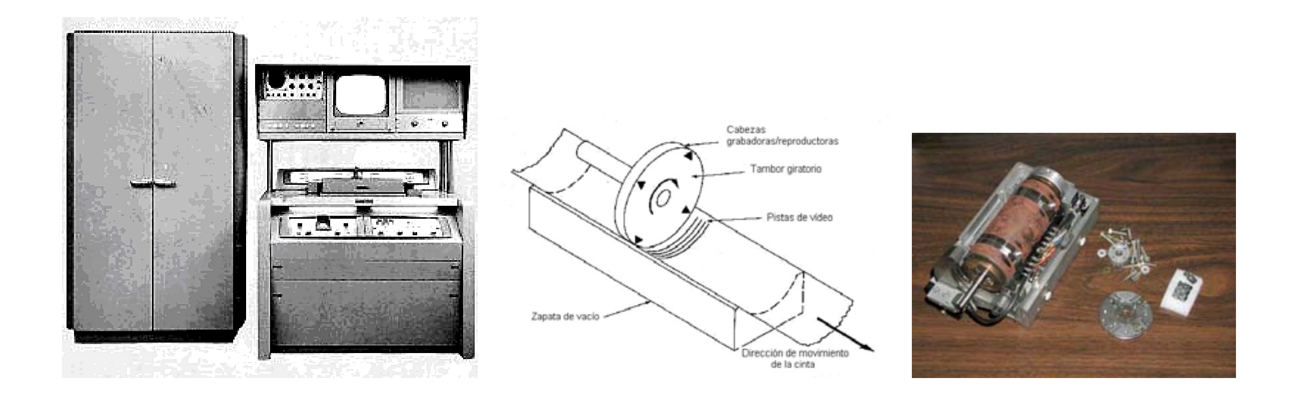


Fig. 1.29. Máquina de grabación de vídeo Ampex VR-1000, formato de grabación transversal y estructura del tambor y cabezas de grabación

Este tipo de máquina sufrió diversas mejoras a lo largo de los años y los diversos modelos producidos estuvieron en uso hasta principios de la década de 1980, en que fue siendo gradualmente reemplazada por máquinas helicoidales. Las máquinas cuádruplex siempre se destinaron a uso profesional, ya que sus dimensiones y precio no hacían posible su utilización doméstica.

Poco más de diez años después comenzaron a ser operativas las grabadoras *helicoidales* del tipo ilustrado en la figura 1.30, que utilizaban cinta de una pulgada y eran de menor tamaño que las máquinas cuádruplex.



Fig. 1.30. Grabadora helicoidal Ampex/Nagra VPR-5

A principios de los años setenta salieron al mercado máquinas más pequeñas que utilizaban cinta de 3/4". Desde entonces los avances han sido considerables hasta llegar a los magnetoscopios domésticos en el terreno de electrónica de consumo y máquinas profesionales portátiles y robustas, capaces de grabar y reproducir señales con gran calidad. A finales de la década de los ochenta aparecieron en el mercado las primeras grabadoras

digitales, que tuvieron una rápida evolución y actualmente la tecnología de grabación y edición se orienta en esa dirección, tanto en soporte magnético, principalmente discos duros, como en soporte óptico (CD y DVD). En el capítulo 9 se trata algo más ampliamente el tema de grabación de televisión.

La confección de un programa de televisión, cuando no va a ser transmitido en tiempo real, requiere de una serie de acciones similares a las que se necesitan en la producción de una película cinematográfica. Por ejemplo, las escenas no tienen necesariamente que filmarse o grabarse en la misma secuencia que especifica el guión, sobre todo cuando se trata de escenas en exteriores, a veces de acceso difícil, o que requieren el montaje de escenografías complejas y costosas. Un procedimiento común es grabar todas las escenas que tienen lugar en un mismo entorno y una vez que se cuenta con el material completo, ensamblarlas de forma que ocupen el lugar que les corresponde en la secuencia del programa. En cinematografía este proceso de ensamblado se realiza por corte y pegado directo de la película revelada. En televisión se lleva a cabo electrónicamente copiando sobre una cinta las porciones del programa grabadas en otra u otras cintas. Con frecuencia es necesario añadir efectos visuales o sonoros, voz o música al material grabado o filmado. El proceso completo se designa como *edición* y más correctamente como *postproducción*. En su forma más simple, un sistema de edición requiere de dos máquinas, una para reproducir y otra para grabar, así como una unidad de control que permita realizar los cortes e inserciones con el sincronismo adecuado para evitar saltos en la imagen. En sistemas más completos se usan varias máquinas reproductoras, un mezclador de vídeo, otro de audio y una máquina grabadora, todo ello bajo control de una *unidad de control de edición*, como se ilustra en la figura 1.31.

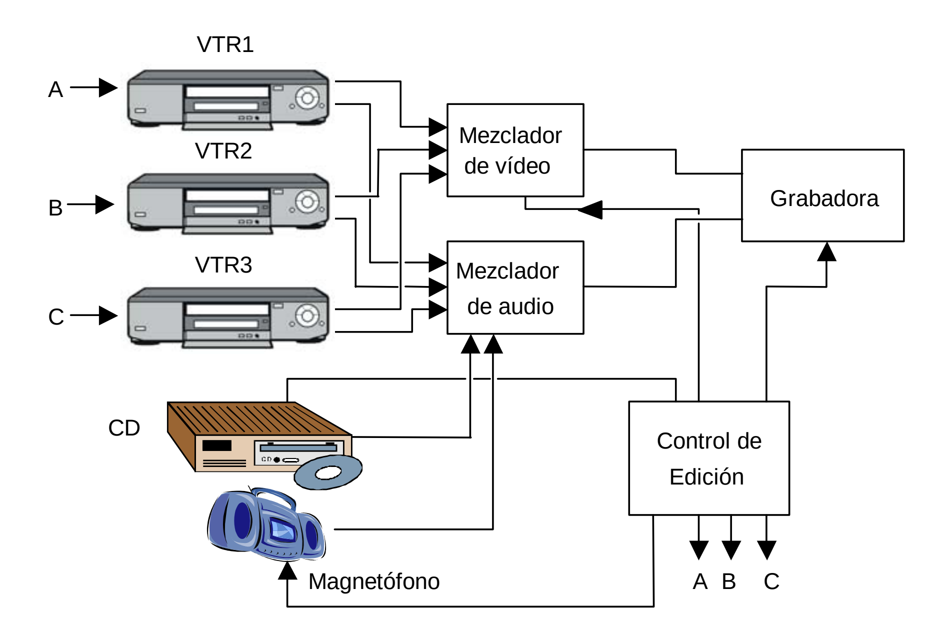


Fig. 1.31 Sistema de edición.

En el caso mostrado en la figura anterior, se emplean tres magnetoscopios como reproductores (VTR1 a VTR3), cuyas salidas de audio y vídeo se alimentan a las entradas de mezcladores de audio y vídeo respectivamente. Este último suele contar, además, con un generador de efectos especiales incorporado. Adicionalmente, se tienen otras dos señales de audio, en el ejemplo, procedentes de una unidad reproductora de disco compacto y de un magnetófono, para incluir efectos de sonido y musicalización del programa. Las salidas de

los mezcladores alimentan al magnetoscopio grabador en el que se registra el programa final editado. Todo el sistema esta controlado por un control de edición que genera las señales necesarias para el arranque, parada y otros propósitos, en los diferentes equipos.

Bibliografía general.

1. Zworykin, V. K. and Morton, G. A. *Television*. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1954.
2. Grob, B. *Basic Television and Video Systems.* 5th Edition. McGraw-Hill Book Co. 1984.
3. Hutson, G., Shepherd, P. and Brice, J. *Coluor Television. System Principles, Engineering Practice and Applied Technology.* 2nd Edition. McGraw-Hill Book Company (UK). London, 1990.
4. Martín Marcos, A. *Sistemas de Televisión*. Editorial Ciencia 3. Madrid, 1996.
5. Tancock, M. *Broadcast Television Fundamentals.* Pentech Press. London, 1991.
6. Slater, J. *Modern Television Systems.* Pitman Publishing. London, 1991.
7. Ennes, H. E. *Principles and Practices of Telecasting Operations*. Howard W. Sams & Co. Indianapolis, 1953.
8. Kiver, M. S. and Kaufman, M. *Television Simplified.* 7th Edition. Van Nostrand Reinhold Company.1973.
9. Sandbank, C. P. *Digital Television*. John Wiley & Sons. Chichester (UK), 1990.
10. Pelat, A. *Les Systèmes de Tèlèvision*. Ellipses. Edition Marketing. Paris, 1988.
11. Patchett, G. N. Sistema PAL de TV en Color. 2ª Edición. Ed. Paraninfo. Madrid, 1982.
12. Blair Benson, K. *Television Engineering Handbook.* McGraw-Hill Book Company. 1986.
13. National Association of Broadcasters (NAB). *Engineering Handbook*. 8th Edition. Washington, 1992.
14. Wentworth, J. W. *Color Television Engineering.* McGraw Book Company Inc. 1955.
15. Watkinson, J. *The Art of Digital Video.* Focal Press (UK). 1990.
16. Torres Urgell, L., Lleida Solano, E. y Casas Pla, J. R. *Sistemas analógicos y digitales de televisión*. Ediciones UPC (Universidad Politécnica de Cataluña). 1993.
17. Rzeszewski, T. Editor. *Color Television*. IEEE Press. Publicación del IEEE, distribuida por John Wiley & Sons, Inc. 1983.
18. Rzeszewski, T. Editor. *Digital Video. Concepts and Applications Across Industries*. Publicación del IEEE. 1995.
19. Schow, Edison, A Review of Television Systems and the Systems for Recording Television, Sound and Video Contractor, Intertec Publishing, Overland Park, KS, May 1989.
20. Battison, John, *Making History*, Broadcast Engineering, Intertec Publishing, Overland Park, KS, June 1986.

21. Dr. Vladimir K. Zworkin: 1889--1982, *Electronic Servicing and Technology*, Intertec Publishing, Overland Park, KS, October 1982.

22. *Television Pioneering, Broadcast Engineering*, Intertec Publishing, Overland Park, KS, May 1979.

23. Lincoln, Donald, *TV in the Bay Area as Viewed from KPIX*, Broadcast Engineering, Intertec Publishing, Overland Park, KS, May 1979.

24. Benson, K. Blair, and Jerry C. Whitaker, *Television and Audio Handbook: For Engineers and Technician*s, McGraw-Hill Book Company, New York, 1989.

25. Schubin, Mark, *From Tiny Tubes to Giant Screens*, Video Review, April 1989.

26. McCroskey, Donald, *Setting Standards for the Future*, Broadcast Engineering, Intertec Publishing, Overland Park, KS, May 1989.